

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tiina Vallius

BITUMIKERMIKATE-ELEMENTIN SUUNNITTELU JA KUSTAN-  
NUSVERTAILU

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2012**  
**Rakennustekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800 p. (013) 260 6906

**Tekijä**  
Tiina Vallius

**Nimeke**  
Bitumikermikate-elementin suunnittelu ja kustannusvertailu

**Toimeksiantaja**  
JHM-Invest Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla puu- ja teräsrakenteisen kattoelementin kustannuksia ja saada lopulta toteutuskelpoiset suunnitelmat edullisemmaksi todetulle elementille. Opinnäytetyö eteni kantavan rakenteen mitoituksesta kustannusvertailuun ja suunnitelmiin. Mitoituksessa huomioitiin myös kiinnitys teräskattoristikoihin. Kustannusvertailu tehtiin ainoastaan materiaalien osalta, sillä toimeksiantajalla ei ollut aiempaa kokemusta kattoelementtien valmistamisesta, joten elementin kokoamiskustannuksia oli hankala arvioida.

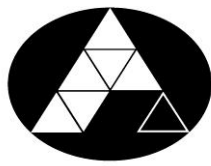
Tulokseksi saatiin, että teräsrakenteinen elementti tulee halvemmaksi, kun elementin leveys on noin 2,4 m ja jänneväli 6 m.

Jatkotutkimusaiheena voisi olla esimerkiksi materiaalikustannusten vertailu eri jänneväleillä.

**Kieli**  
Suomi

Sivuja 36  
Liitteet 20  
Liitesivumäärä 26

**Asiasanat**  
Kattoelementti, puuelementti, teräselementti, vertailu



NORTH KARELIA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**THESIS**  
**April 2012**  
**Degree Programme in Civil Engineering**  
Karjalankatu 3  
FIN 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 6800

Author  
Tiina Vallius

Title  
Planning and cost comparison of bitumen roofing felt precast

Commissioned by  
JHM-Invest Ltd

#### Abstract

The aim of the thesis was to compare costs of wooden and steel structure elements and get viable plans of the lowest-cost element. First, a load bearing structure was dimensioned. Next, a cost comparison was made and finally the layout was created. The process of dimensioning included taking into account attachments to the steel truss. The cost comparison included only prices of the materials because the client had no previous knowledge about production of roof slabs. It was therefore difficult to estimate the production costs.

The results indicate that steel structure element has a lower cost when the width of the element is about 2.4 m and the bearing distance is 6 m.

Further research could include for example comparison of material costs in the varying bearing distances.

Language  
Finnish

Pages 36  
Appendices 20  
Pages of Appendices 26

Keywords  
Roof slab, wooden element, steel element, comparison

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
1.1	Tausta .....	5
1.2	Tutkimusongelma .....	6
1.3	Tutkimuksen tavoitteet .....	6
2	Vesikattorakenteiden esittely .....	6
2.1	Teräsrakenteinen kattoelementti .....	7
2.2	Puurakenteinen kattoelementti .....	8
3	Elementtirakenteen edut ja haitat .....	9
4	Elementin suunnittelu .....	10
4.1	Suunnittelun lähtökohdat .....	11
4.1.1	Palomääräysten huomiointi .....	12
4.1.2	Elementille tulevien kuormien huomiointi .....	12
4.2	Elementtien väliset saumat ja liitokset .....	13
4.3	Kuljetuksen huomioiminen suunnittelussa .....	14
4.4	Asennuksen huomioiminen suunnittelussa .....	15
4.5	Elementin nostosta aiheutuva kuorma .....	16
4.6	Työnaikainen säänsuojaus .....	16
4.7	Rakenteiden U-arvot .....	16
4.7.1	Ylälikiarvon laskenta .....	17
4.7.2	Alaliikiarvon laskenta .....	18
4.7.3	Teräsrakenteisen elementin U-arvo .....	18
4.7.4	Puurakenteisen elementin U-arvo .....	21
4.8	Elementin kiinnitys kattoristikoihin .....	23
5	Rakenteiden vertailu .....	24
5.1	Kantavan rakenteen laskenta .....	24
5.1.1	Teräsprofiili .....	24
5.1.2	Kertopuupalkki .....	25
5.2	Kustannuslaskenta .....	25
5.2.1	Teräsrakenteisen elementin hinta .....	26
5.2.2	Kertopuurakenteisen elementin hinta .....	27
6	Tulokset .....	27
7	Pohdinta .....	29
	Lähteet .....	34
	Liitteet .....	36

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Elementtirakentamisen historia on pitkä, sillä elementtitekniikkaa on käytetty rakentamisessa jo muinaisissa kulttuureissa. Tarkkaa alkamisajankohtaa on vaikea määrittää, samoin käsitteen ”elementti” määrittely yksiselitteisesti on vaikeaa. Suomessa vanhimpia puisista elementeistä tehtyjä rakennuksia ovat hirsi-rakennukset, sillä hirrellä on kaikki rakennuselementin tyypillisimmät ominaisuudet. Hirret muotoillaan, esivalmistetaan, elementit kooditetaan, siirretään rakennuspaikalle ja kootaan rakennukseksi. Nykyään elementillä tarkoitetaan lähinnä teollisesti valmistettuja kokonaisuuksia, jotka koostuvat useammasta eri osasta, kuten kantavasta rungosta, lämmöneristeestä, ulko- ja sisäpinnoista jne. [13.]

Opinnäytetyön aihetta miettiessäni toivoin saavani yritykseltä mielenkiintoisen toimeksiantannon. Mielestäni opinnäytetyön tekeminen toimeksiantona on paras vaihtoehto, sillä silloin työstä hyötyy toimeksiantaja ja opiskelijalla on todennäköisesti suurempi motivaatio työnsä tekemiseen. Tämä opinnäytetyö tehdään toimeksiantona hallirakentamiseen erikoistuneelle JHM Invest Oy:lle.

Teollisuushallien rakentamisessa käytetään lähes aina seinä- ja kattoelementtejä, sillä jännevälit kasvavat pitkiksi verrattuna pientalorakentamiseen. Toimeksiantaja yritys rakentaa teollisuushalleja vuosittain, joten toiveena on saada valmiit toteutuskelpoiset suunnitelmat kattoelementille, jota voisi käyttää JHM Invest Oy:n rakennuskohteissa. Lähtötietoina ovat elementin leveys, 2,4 m ja jänneväli, 6 m. Elementti tukeutuu päistään yläpohjaan kantavaan rakenteeseen. Tukena on tässä tapauksessa teräsristikon yläpaarre, joka on 100 mm leveä ja ainevahvuudeltaan 5 mm:n putkiprofiili. Koska teräsristikot ovat toimeksiantajan kohteissa lähes aina 6 m:n jaolla, suunnitellaan elementtikin tälle jännevälille [1]. Elementtien valmistusmittasuositus on 2400 mm [2].

Tässä työssä huopakattoelementillä tarkoitetaan elementtiä, jonka vesikatemateriaalina on kumibitumikermi.

## 1.2 Tutkimusongelma

Kattoelementin valmistukseen ei ole yhtä oikeaa materiaalia, josta se tulisi kustannuksiltaan halvimmaksi. Kun jänneväli pysyy vakiona, voidaan selvittää, mitä materiaaleja kannattaa käyttää, jotta hinta olisi mahdollisimman alhainen.

Tässä työssä suunnitellaan elementti, jonka leveys on noin 2,4 m ja jänneväli 6 m. Tutkimusongelmana on selvittää materiaalikustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto, kun vertailussa ovat teräs- ja kertopuurakenteinen elementti. [1.]

## 1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on:

- laatia kattoelementistä suunnitelmat, jotka ovat käytännössä toteutettavissa. Elementin kantava palkki mitoitetaan ja suunnitelmissa otetaan huomioon lämmöneristysmääräykset sekä elementin palonkesto, kuljetus ja asennus
- käyttää elementin valmistuksessa kustannukset minivoivia materiaaleja. Esimerkiksi levyjen ja eristeiden koot valitaan siten, että turhalta materiaalihukalta välttyttäisiin
- vertailla puu- ja teräsrakenteisen elementin kustannuksia.

Halvemmassa ratkaisusta tehdään suunnitelmat, kun elementtien kustannukset ovat tiedossa.

## 2 Vesikattorakenteiden esittely

Vesikatto on rakenne, joka erottaa rakennuksen ylimmän kerroksen ja ulkoilman toisistaan. Vesikaton eri osien tulee toimia yhdessä hyvin, jotta lopputuloksena on tiivis, vettä läpäisemätön rakenne. Yleisesti tarkasteltuna vesikatto koostuu seuraavista osista:

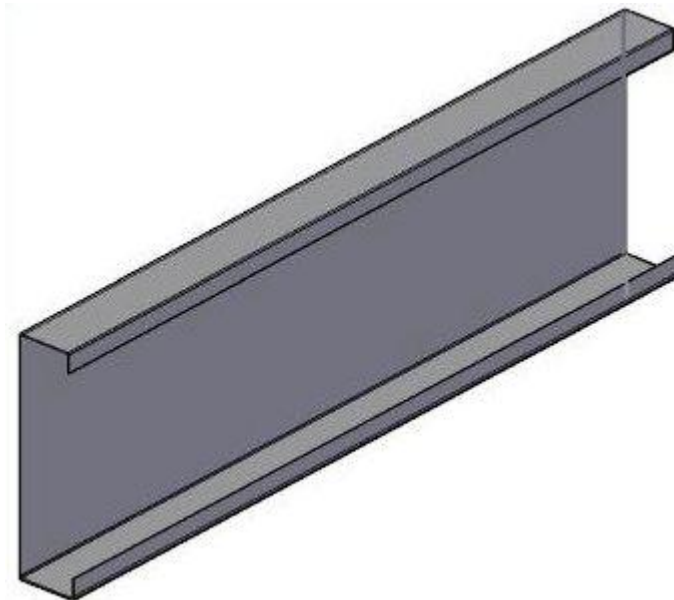
- kantava rakenne
- ilmansulku
- höyrynsulku
- lämmöneriste

- tuuletustila tarvittaessa
- vedeneristeen alusrakenne
- varsinainen vedeneriste
- veden poisto
- läpiviennit (esimerkiksi savunpoistoluukut)
- kattoon liittyvät muut rakenteet [3.]

## 2.1 Teräsrakenteinen kattoelementti

Teräsrakenteisia kattoelementtejä käytetään erityisesti teollisuus- ja urheiluhallirakentamisessa. Useimpien valmistajien elementeissä rakenteen sisä- ja ulkopuoli ovat valmiita, joten asentamisen jälkeen saadaan aikaiseksi valmista pintaa. Teräsrakenteisia kattoelementtejä voidaan valmistaa jopa paloluokassa R60, kun sisäpuolisena rakenteena käytetään palon kestävää kipsilevyä. Yleensä teräsprofiiliksi valitaan U- tai C-profiili. [4.]

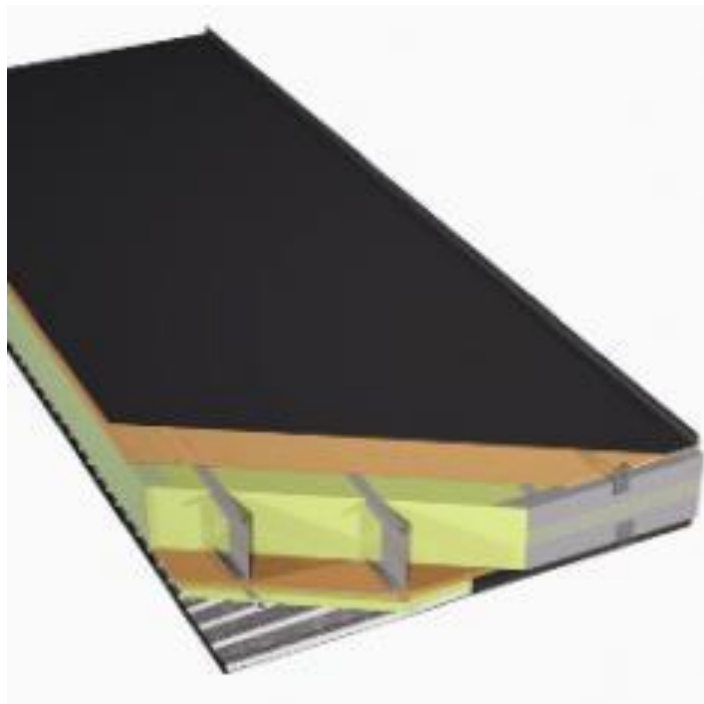
Teräsrakenteinen elementti suunnitellaan tässä työssä C-orresta. C-orssi valmistetaan kuumasinkitystä nauhalevystä, jonka paksuus vaihtelee 1,0 – 3,0 mm:n välillä [20]. Kuvassa 1 on kolmiulotteinen malli käytettävästä profiilista.



Kuva 1. C-profiili

Profiili valittiin toimeksiantajan pyynnöstä. Sen etuja ovat mm. keveys ja mahdollisuus pitkiin jänneväleihin.

Kuvassa 2 on Ruukin esivalmistettu kattoelementti. Ruukin elementissä käytetään C-profiilia [4].



Kuva 2. Ruukin esivalmistettu kattoelementti. Näiden elementtien käyttökohteita ovat mm. urheiluhallit ja teollisuusrakennukset. [4.]

## 2.2 Puurakenteinen kattoelementti

Puurakenteisia kattoelementtejä käytetään melko yleisesti sekä pientalo- että hallirakentamisessa. Suurimmat yläpohjaelementit saattavat olla jännemitaltaan jopa yli 20 m:ä pitkiä ja niiden leveys on yleensä 3M-moduulissa (300, 600, 900, 1200 mm:ä jne.). Tavallisesti elementin leveys on 2400 mm, kuten tässäkin työssä suunniteltavan elementin. [5; 13.]

Tässä työssä laskemisessa on käytetty Kerto-S –palkkia. Palkki valittiin toimeksiantajan pyynnöstä. Kuvassa 3 on kertopuusta valmistettu elementti.





Kuva 3. Metsä Wood -kattoelementti asennusvaiheessa [18].

### 3 Elementtirakenteen edut ja haitat

Elementtirakentamista on ollut jo satojen vuosien ajan. Esimerkiksi puisten rakennuselementtien käyttö yleistyi Suomessa etenkin 1940- ja 1950-lukujen vaihteessa, jolloin elementtipientalojen valmistus oli vilkasta sekä jälleenrakentamisessa että sotakorvaustuotantona. [6, 296.]

Hallirakentamisessa elementtien käyttö on varsin yleistä. Usein esimerkiksi teollisuushallit ovat pinta-alaltaan tuhannesta neliömetristä useisiin tuhansiin, joten seinä- ja kattopinta-alaa on myös paljon verrattuna pientalorakentamiseen. Tällaisissa kohteissa on järkevää käyttää elementtejä useastakin syystä. Seuraavassa listassa on esimerkkejä siitä, miksi mielestäni elementtien – ja erityisesti kattoelementtien – käyttö on järkevää:

- Suomessa sääolosuhteet voivat vaihdella vuodenajasta riippumatta paljonkin. Esimerkiksi hallirakentamisessa lattiapinta-alan ollessa suuri on järkevää saada katto varhaisessa vaiheessa päälle, jotta lattiavalun epäonnistuminen sääolosuhteiden takia vältettäisiin. Hyvänä esimerkkinä tästä on kesäaika, jolloin rankan vesisateen varalta seinät ja katto kannattaa olla valmiina ennen lattiavalua.
- Elementtirakentaminen on Suomessa erityisesti talviaikaan hyvä vaihtoehto, sillä työt voidaan tehdä sisätiloissa, jolloin ei olla pakkasen tai muiden huonojen sääolosuhteiden armoilla. Ainoastaan elementtien asennus tapahtuu ulkona.

Myös seuraavat asiat [2, 12] ovat elementtirakentamisen hyviä puolia:

- Rakennusaika lyhenee, jolloin saavutetaan säästöjä rakennustyömaan yleiskustannuksissa ja rakennusajan pääomakustannuksissa.
- Kausivaihtelut pienenevät. Talviaikaan tehtaat toimivat vajaatehoisesti, jolloin käytössä olevaa kapasiteettia voidaan käyttää tehokkaammin ajoittamalla valmisosatoimitukset talviaikaan.
- Rakentamisen laatu paranee, sillä elementtitehtaissa olosuhteet ovat hallitut verrattuna työmaaympäristöön ja mm. mittatarkkuus paranee.
- Työvoiman saatavuus helpottuu, sillä elementtitehdas voidaan sijoittaa alueelle, missä työvoima ja raaka-aineet ovat helposti saatavilla.

Elementtirakentamiseen liittyy myös heikkouksia verrattuna paikalla rakentamiseen [13]:

- Saumoja on runsaasti verrattuna paikalla rakennettuun yläpohjaan, joten haasteena on saada rakenteesta tiivis.
- Jos elementit ovat monimuotoisia ja yksittäiskappaleista koostuvia, ei tehdasvalmistuksella välttämättä saada laskettua kustannuksia alas verrattuna paikalla rakentamiseen.

## 4 Elementin suunnittelu

Kattoelementin suunnittelussa on huomioitava paljon erilaisia asioita. Elementin tulee olla helposti toteutettava ja toisaalta myös helposti asennettava. Jo suunnitteluvaiheessa on huomioitava kuljetukseen liittyvät asiat, kuten se, ettei tarvitse käyttää erikoiskuljetusta. Asennukseen liittyen on otettava jo suunnitteluvaiheessa huomioon, että elementtien kiinnitys toisiinsa ja kattoristikoihin tapahtuisi mahdollisimman nopeasti ja vähällä vaivalla. Erityisesti saumat kannattaa suunnitella huolella, jotta lopputulos käytännössä olisi hyvin toimiva ja pahoilta kylmäsilloilta välttyttäisiin.

Toimivan elementin suunnitteluun vaikuttavat ulkoiset tekijät voidaan listata seuraavasti [13]:

- Arkkitehtuuri; lähtötietoina vaatimukset, joita rakennuksen käyttäjä ja siellä suoritettava toiminta asettavat.
- Viranomaismääräykset ja ohjeet; yleiset määräykset ja ohjeet vaikuttavat suunnitteluun. Tällaisia ovat mm. lujuutta, eristävyyttä ja paloturvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet. Myös paikalliset viranomaismääräykset, kuten kaavamääräykset, asettavat vaatimuksia.
- Mittajärjestelmä; valittu mittajärjestelmä vie suunnittelijalta vapauksia, mutta toisaalta se perustuu yleensä rakennuslevyjen ja eristeiden standardi mittoihin, jolloin minimoidaan rakentamisen työ- ja materiaalmäärä.
- Rakennustarvikkeet; suunnittelijan on tunnettava valitsemiensa rakennustarvikkeiden tekniset ominaisuudet ja niiden soveltuvuus käyttökohteeseen. Rakennusmateriaalien osalta on mietittävä niiden mittojen yhteensopivuus, jotta välttäisiin ylimääräisiltä sovitustöiltä.
- Rakennejärjestelmä; suunnittelijan on tunnettava rakennejärjestelmään liittyvät rajoitukset ja mahdollisuudet, esimerkiksi yläpohjan lävistäviin rakenteisiin liittyvät asiat.
- Valmistus; elementtejä valmistettaessa on pyrittävä mittojen modulointiin ja eri rakenneratkaisujen vakiointiin. Elementtien valmistuksessa pyritään vakio-osien käyttöön, jolloin suurien sarjojen valmistaminen on mahdollista ja automatisoitavissa. Valmistuksessa pyritään käyttämään vakiomitaisia rakennustarvikkeita ilman ylimääräistä työstöä.
- Asennustyö; suunnittelussa on huomioitava, että elementin tulee kestää siirtojen, nostojen, varastoinnin, kuljetuksen sekä asennuksen aiheuttamat rasitukset. Asennus on suunniteltava mahdollisimman yksinkertaiseksi ja nopeaksi unohtamatta työturvallisuutta.

#### **4.1 Suunnittelun lähtökohdat**

Lujuuslaskentavaiheessa tulee olla tiedossa rakenteen jänneväli ja kuormat, sekä staattinen malli. Kun jänneväli ja kuormat tiedetään, voidaan mitoittaa, kuinka korkea ja leveä kantavasta rakenteesta tulee. Tällöin saadaan myös tieto

siitä, millä jaolla palkit ovat elementissä ja montako niitä tulee yhteen elementtiin.

Tässä opinnäytetyössä suunniteltava huopakattoelementti on leveydeltään noin 2,4 m ja pituudeltaan 6 m [1]. Tarkat mitat näkyvät lopullisissa suunnitelmissa.

#### **4.1.1 Palomääräysten huomiointi**

Tuotanto- ja varastorakennuksille on olemassa omat ohjeet ja määräykset, jotka löytyvät ympäristöministeriön [www-sivuilta](http://www.sivuilla). Suomen rakentamismääräyskoelma E2:n mukaan tuotanto- ja varastorakennukset jaetaan kahteen palovaarallisuusluokkaan rakennuksen käyttötarkoituksen ja toiminnan mukaan. Lisäksi rakennukselle on määritetty kolme eri suojaustasoluokkaa, joiden mukaan rakennus varustetaan pelastus- ja sammutustyötä helpottavilla laitteilla. Tässä opinnäytetyössä suunniteltava kattoelementti oletetaan rakennukseen, joka kuuluu palovaarallisuusluokkaan 1 ja suojaustaso 1:een ja rakennuksen paloluokka on P2 [1]. Palomääräykset asettavat rajoituksia kantaville rakenteille, jotka suunnitellaan yleensä Rakentamismääräyskoelman E1 mukaisesti. [6; 7.]

Opinnäytetyössä suunniteltavassa elementissä käytetään sisäpuolella Gyproc GF Protect F -kipsilevyä, joka on kehitetty erityisesti palonsuojaukseen. Tällaista kipsilevyä käytettäessä riittää yksinkertainen levytys, jolloin rakenne menee paloluokkaan EI 30, jolloin sen palonkesto aika on 30 minuuttia. [17.]

#### **4.1.2 Elementille tulevien kuormien huomiointi**

Elementin kantavan rakenteen laskennassa käytetyt kuormat ovat elementin omapaino ja lumikuorma. Elementin kiinnitystä yläpohjaan mitoittaessa on huomioitava tuulen imukuorma sekä kattokaltevuudesta johtuva leikkausvoima.

Omapainon laskennassa huomioitiin kantavan rakenteen paino sekä eristeiden, levyjen ja kumibitumikermin paino neliömetriä kohti. Eristeistä ym. tulevat painot näkyvät liitteessä (7).

Luomikuorman laskennassa käytettiin Puurakenteiden suunnitteluun tarkoitetun Lyhennetyn suunnitteluohjeen toista painosta, joka perustuu Eurokoodi 5:een.

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvona käytettiin  $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$ , joka on esimerkiksi Etelä-Suomen ja Pohjois-Karjalan alueilla käytettävä laskenta-arvo. Kattokaltevuus on 1:16. Kaltevuutta tarvitaan mitoituksessa lumikuorman muokertoimen arvon määrittämisessä. [15.]

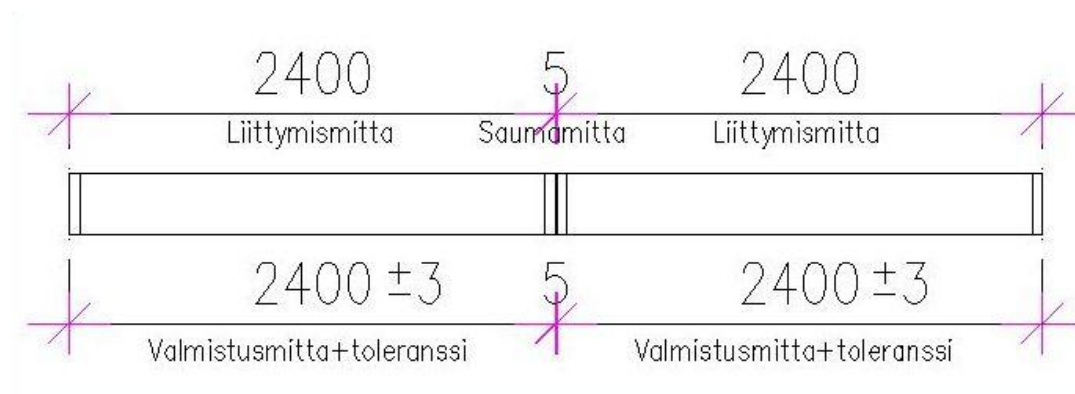
Elementti kiinnittyy teräksisiin kattoristikoihin kulmaraudalla, joka kiinnitetään sekä kattoristikoihin että elementtiin ruuveilla. Mitoitettaessa kiinnitysruuvin määrää on tiedettävä tuulen aiheuttama imuvoima. Tässä työssä imuvoima laskettiin Lyhennetyn suunnitteluohjeen toisen painoksen mukaisesti. Mitoituksessa otettiin huomioon suurin mahdollinen paikallinen tuulesta aiheutuva imu. Lisäksi on tiedettävä katon kaltevuudesta johtuva leikkausvoima, joka imuvoiman lisäksi aiheuttaa kiinnitykselle kuormaa.

## 4.2 Elementtien väliset saumat ja liitokset

Erityisesti elementtirakentamisessa on kiinnitettävä huomiota suunnittelun ja asennuksen osalta elementtien välisiin saumoihin. Seuraavat asiat ovat huomioitavia puuelementtirakentamisessa [6], mutta mielestäni ne pätevät samalla tavalla teräselementin saumoihin:

- Sauman tulee pysyä tiiviinä elementtien pienestä liikkeestä ja esimerkiksi puun luontaisesta käyristymisestä huolimatta.
- Liitoksen tulee olla sellainen, että se estää rinnakkaisten elementtien erilaisesta käyryydestä johtuvan hammastuksen.
- Sauman tulee olla helposti tiivistettävissä ja tarkastettavissa.
- Liitos ei saa huomattavasti hidastaa asentamista, vaikka elementissä olisikin mittapoikkeamia.
- Sauma ei saa muodostaa kylmäsiltaa eikä mahdollistaa ilmavuotoa.
- Liitosrakenteen tulee olla yksinkertainen ja halpa, ja sen tulee sisältää mahdollisimman vähän lisäosia.
- Liitoksen tulee ottaa vastaan sille tulevat ja sille lasketut kuormat luotettavasti. Mahdollisten pakkovoimien, esimerkiksi lämpö- ja kosteusliikkeiden, tulee olla pieniä.

Kattoelementtiä suunniteltaessa on otettava huomioon asennuksen ja sauman vaatima tila elementtien välillä. Tästä syystä puurakenteisilla elementeillä varataan saumamitaksi 5 mm, joka otetaan huomioon elementin leveydestä (kuva 4). [2, 41.]



Kuva 4. Elementtien välinen saumamitta ja mittatoleranssit [2, 41]

Elementtien välisiin saumoihin laitetaan asennusvaiheessa mineraalivillakaista, joka on puristamattomana 20 mm:n paksuinen [2, 40]. Näin saumasta saadaan tiivis. Sauma suojataan palolta siihen tarkoitettulla palonkestävällä elastisella massalla, joka samalla varmistaa rakenteen tiiveyden yhdessä höyrynsulun kanssa. Erityisesti elementtien nurkissa tarkka tiivistys on tärkeää. Elementtien välisistä saumoista on kuvat liitteissä 14, 15 ja 16.

Teräselementtirakentamisessa yleensä käytetyt liitokset ovat joko pultti- tai hitsiliitoksia. Puurakenteisissa kattoelementeissä käytetään nauloja tai kansiruuveja. [8, 93; 13.]

### 4.3 Kuljetuksen huomioiminen suunnittelussa

Elementtirakentamisessa kuljetusmatkat voivat olla pitkiä, sillä yleensä valmistajalla ei ole tehtaita useilla paikkakunnilla. Tässä opinnäytetyössä suunniteltavaa kattoelementtiä on tarkoitus valmistaa Pohjois-Karjalassa. Kohteet, joissa elementtiä käytetään, sijaitsevat pääosin Etelä-Suomessa. Näin ollen kuljetusmatka voi olla useita satoja kilometrejä. Elementin mitat on huomioitava suunnittelussa siten, että kuljetus hoituu tavallisella täysperävaunurekalla.

Leveyssuunnassa Kaukokiidon täysperävaunurekkaan mahtuu 2,5 m leveä kuljetus, joten elementti suunnitellaan noin 2,4 m leveäksi. Elementtejä tulee voida

lastata kuljetukseen päällekkäin, jolloin niiden tuenta kuljetuksen aikana pystysuunnassa on huomioitava. Myös painorajoitukset on huomioitava, täysperävaunurekalle ilmoitettu 37 tn ei saa ylittyä. [9.]

#### **4.4 Asennuksen huomioiminen suunnittelussa**

Kattoelementtisuunnitelmia tehtäessä on mietittävä, voidaanko ne toteuttaa käytännössä. Usein rakennustyömaalla työntekijät valittelevat suunnitelmien olevan hankalia, joskus jopa mahdottomia toteuttaa, joten tässä työssä asennus pyritään suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaiseksi ja toteutuskelpoiseksi.

Asennusvaiheessa yksi tärkeimmistä suunnittelussa huomioitavista asioista on elementin nopea ja yksinkertainen kiinnitys kattoristikoihin. Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan sellainen järjestelmä, että elementin kiinnitys kattoristikon yläpaarteeseen tapahtuu alhaaltapäin henkilönostimen päältä. Elementti kiinnitetään teräksisiin kattoristikoihin kulmaraudoilla (liite 16), jotka asennetaan etukäteen kiinni ristikon yläpaarteeseen. Kulmarautojen kiinnityskohdat on mitattava tarkkaan, jotta ne sattuvat elementin kantavan rakenteen kanssa kohdakkain. Kun elementti lasketaan nosturilla ristikoiden päälle ja asetetaan paikalleen, se saadaan kiinnitettyä heti alhaalta päin ruuvaamalla. Nostossa käytetään liinoja, tilannetta selvennetään liitteessä 5. Elementti lasketaan kattoristikoiden päälle siten, että sauma jää avonaiseksi. Sauman raon ei tarvitse olla suuri, ainoastaan sen verran, että liinat saadaan vedettyä elementtien välistä pois. Tämän jälkeen elementti siirretään miesvoimin paikoilleen.

Suunnitelluista elementeistä tehdään aina asennussuunnitelma, jossa käydään läpi asennustyön vaiheet ja niihin vaikuttavat seikat. Asennettaessa elementtejä tulee tarkistaa asiakirjoista, että elementit ja niistä kootut rakennusosat täyttävät niille määrätyt vaatimukset. Toisin sanoen tarkastetaan, ovatko elementit koottu oikein, puuttuuko niistä osia ja ovatko elementit ehjiä kuljetuksen jäljiltä. Asennus tehdään tarkastuksen jälkeen. Elementtien asennusvaiheessa saumoihin tulee kiinnittää erityistä huomiota; elementtisaumojen sekä elementin ja runko-rakenteen välisten saumojen huolellinen tiivistäminen on tärkeää. [10.]

#### 4.5 Elementin nostosta aiheutuva kuorma

Elementti nostetaan paikalleen nosturilla liinojen avulla. Jotta liinat eivät aiheuttaisi elementtiin liian suurta rasitusta, on pidettävä huoli siitä, että liinojen välinen kulma on mahdollisimman pieni. Tilannetta selventää liitteenä (liite 5) olevat kuvat. Tässä työssä ei suunnitella elementtiin erillisiä nostolenkkejä.

#### 4.6 Työnaikainen säänsuojaus

Tässä opinnäytetyössä suunniteltavan elementin katemateriaalina on kumibitu-mikermi, joka toimii säänsuojana. Huopa limitetään siten, että viereisestä elementistä jäävä limityskaista kiinnitetään alemman elementin päälle (liite 12). Limitys kaistat tulee tehdä siten, että ne menevät alempana olevan elementin päälle, eikä toisin päin. Elementtien asennusjärjestyksellä ei periaatteessa ole suurta merkitystä, mutta mielestäni kannattaa edetä harjalta räystästä kohti.

#### 4.7 Rakenteiden U-arvot

Rakenteiden lämmöneristysmääräykset muuttuvat aika ajoin. Tätä opinnäytetyötä tehtäessä Rakentamismääräyskokoelma C4:sta, jossa on ohjeita rakennusten lämmöneristykseen liittyen, on julkaistu 2012–vuoden luonnosversio. Aiempi, vielä voimassa oleva versio on vuodelta 2003. Eroa näiden välillä on mm. lämmönläpäisykerroin laskennassa, jonka avulla selvitetään, paljonko rakenteeseen tulee eristettä, jotta se täyttäisi ajanmukaiset määräykset.

$U$ -arvo, eli lämmönläpäisykerroin  $U$  on lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan. Sen yksikkö on  $W/m^2K$  ja lämpimän tilan yläpohjarakenteissa vertailuarvona käytetään  $0,09 W/m^2K$ :ä. [11.]

Lämmönläpäisykerroin  $U$  lasketaan kokonaislämmönvastuksen  $R_T$  avulla. Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus saadaan laskettua kaavasta 1 [12]:

$$R = \frac{d}{\lambda_U} \quad (1)$$

jossa  $d$  = rakenteen paksuus [mm]

$\lambda_U$  = rakennusaineen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo [ $W/mK$ ]

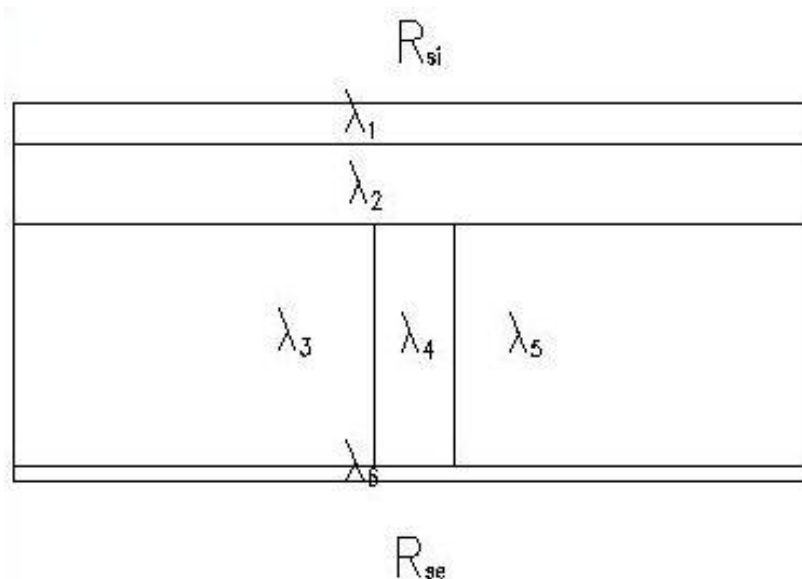


Lämmönläpäisykerroin saadaan laskettua kaavasta 2 [12]:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2)$$

jossa  $R_T$  = rakenteen eri materiaalien lämmönvastuksien yhteen lasketut arvot, sisältäen myös sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

Lopullista  $U$ -arvoa laskettaessa on laskettava kokonaislämmönvastukselle ylä- ja alalikiarvot, jos rakenteessa on lämpövirran suuntaan nähden lämmönjohtavuudeltaan erilaisia rinnakkaisia rakennusaineita. Tilannetta selventää kuva 5. Kokonaislämmönvastus saadaan laskemalla ylä- ja alalikiarvojen keskiarvo. [12.]



Kuva 5 Esimerkki rakenteesta, jossa on rinnakkain lämmönjohtavuudeltaan erilaisia ainekerroksia. Erilaisia rinnakkaisia ainekerroksia voi olla kaksi tai useampia.

#### 4.7.1 Ylälikiarvon laskenta

Rakentamismääräyskokoelma C4 mukaan rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvon ( $R'_T$ ) laskennassa käytetään lämpövirran suunnassa jaettuja rakennusosalohkoja. Nämä lohkot muodostuvat lämpövirran suuntaan nähden peräkkäisistä lämmönjohtavuudeltaan erilaisista ainekerroksista. Jos rakenteessa on rinnakkain kaksi lämmönjohtavuudeltaan erilaista ainekerrosta, ne muodostavat omat lohkonsa. Ylälikiarvo laskemiseen tarvitaan jokaisen lohkon

kokonaislämmönvastus, joka lasketaan kaavan 1 avulla. Lopullinen ylälikiarvo saadaan kaavasta 3 [12.]:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (3)$$

jossa  $R'_T$  = rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo  $[\frac{m^2K}{W}]$   
 $f_a, f_b, \dots, f_n$  = lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$  = lohkojen a, b, ..., n kokonaislämmönvastukset  $[\frac{m^2K}{W}]$

#### 4.7.2 Alalikiarvon laskenta

Rakentamismääräyskokoelma C4 mukaan rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvon ( $R'_T$ ) laskennassa käytetään lämpövirran suuntaan nähden kohtisuoriin, koko rakennekerroksen läpi ulottuviin lohkoihin. Tässä tapauksessa jokainen kerros on lämmönjohtavuudeltaan yhtenäinen lämpövirran suunnassa. Kunkin kerroksen lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset yhdistetään kaavan 4 mukaisesti [12.]:

$$\frac{1}{R''_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}} \quad (4)$$

jossa  $R''_j$  = rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo  $[\frac{m^2K}{W}]$   
 $f_a, f_b, \dots, f_n$  = yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n osuudet lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

$R_{ja}, R_{jb}, \dots, R_{jn}$  = rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n kokonaislämmönvastukset  $[\frac{m^2K}{W}]$

#### 4.7.3 Teräsrakenteisen elementin U-arvo

Teräsrakenteisen huopakattoelementin materiaaliipaksuudet, materiaalien lämmönjohtavuudet ja lämmönvastukset näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Teräsrakenteisen elementin ainekerrosten lämmönvastukset.

Ainekerrokset	Paksuus d[mm]	Lämmönjohtavuus $\lambda_u$ [W/mK]	Lämmönvastus $R=d/\lambda_u$ [m <sup>2</sup> K]
Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$	-	-	0,1
Kipsilevy	12,5	0,21	0,06
Höyrynsulku			0,02
Paroc ROS 30g	300	0,036	8,33
C-profiili	360	50	0,007
SPU SP	50	0,022	2,27
Vaneri	15	0,12	0,13
Huopa	20	0,23	0,09
Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$	-	-	0,04
$R_T$			11,05

Vaikka teräksen suhteellinen osuus elementissä on hyvin vähäinen, se on otettava laskennassa huomioon, sillä rakenteessa olevat metalliosat muodostavat merkittäviä kylmäsiltoja teräksen suuren lämmönjohtavuuden takia. Rakentamismääräyskokoelma C4:n mukaan tällaisen rakenteen kokonaislämmönvastusta ei voida määrittää perinteisellä menetelmällä, vaan sen laskentaan on valittava tarkempi menetelmä. Vertailun vuoksi tässä opinnäytetyössä  $U$ -arvo lasketaan tarkan menetelmän lisäksi C4:n mukaan:

$$\int_{teräs} = 2 \div 1200 = 0,002$$

$$\int_{Paroc\ ROS\ 30g} = 1198 \div 1200 = 0,998$$

$$\int_{SPU\ AL} = 1198 \div 1200 = 0,998$$

$$R_{teräs+Paroc} = \frac{1}{\frac{0,002}{0,007} + \frac{0,998}{8,33}} = 2,47\ m^2K/W$$

$$R_{teräs+SPU} = \frac{1}{\frac{0,002}{0,007} + \frac{0,998}{2,27}} = 1,38\ m^2K/W$$

$$R_T = 0,1 + 0,06 + 0,02 + 3,85 + 0,13 + 0,09 + 0,04 = 4,29\ m^2K/W$$

Näin saadaan teräsrakenteisen elementin  $U$ -arvoksi  $U=0,23\ W/m^2K$ . Tämä tulos on Rakentamismääräyskokoelma C3:n vertailuarvoa paljon huonompi, eikä tu-

los ole oikea. Tällöin rakennusosan kokonaislämmönvastusta ei voida määrittää myöskään vuoden 2012 Rakentamismääräyskokoelma C4:n kokonaislämmönvastuksen ylä- ja alalikiarvon avulla, vaan kylmäsillat on huomioitava tarkemmalla laskentamenetelmällä. [12.]

Teräsrakenteisen elementin tarkempi  $U$ -arvo saadaan laskettua kaavasta 5 [19]:

$$\phi = \lambda * A * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (5)$$

jossa  $\phi$  = vakiona pysyvä lämpömäärä aikayksikköä kohden,  
eli lämpövirta [W]

$\lambda$  = aineen lämmönjohtavuus [W/mK]

$A$  = pinta-ala [ $m^2$ ]

$\Delta T$  = vakiolämpötilaero [K]

$\Delta x$  = matka [m]

Tämän perusteella saadaan johdettua kaavasta 5  $U$ -arvon laskentaa varten kaava 6:

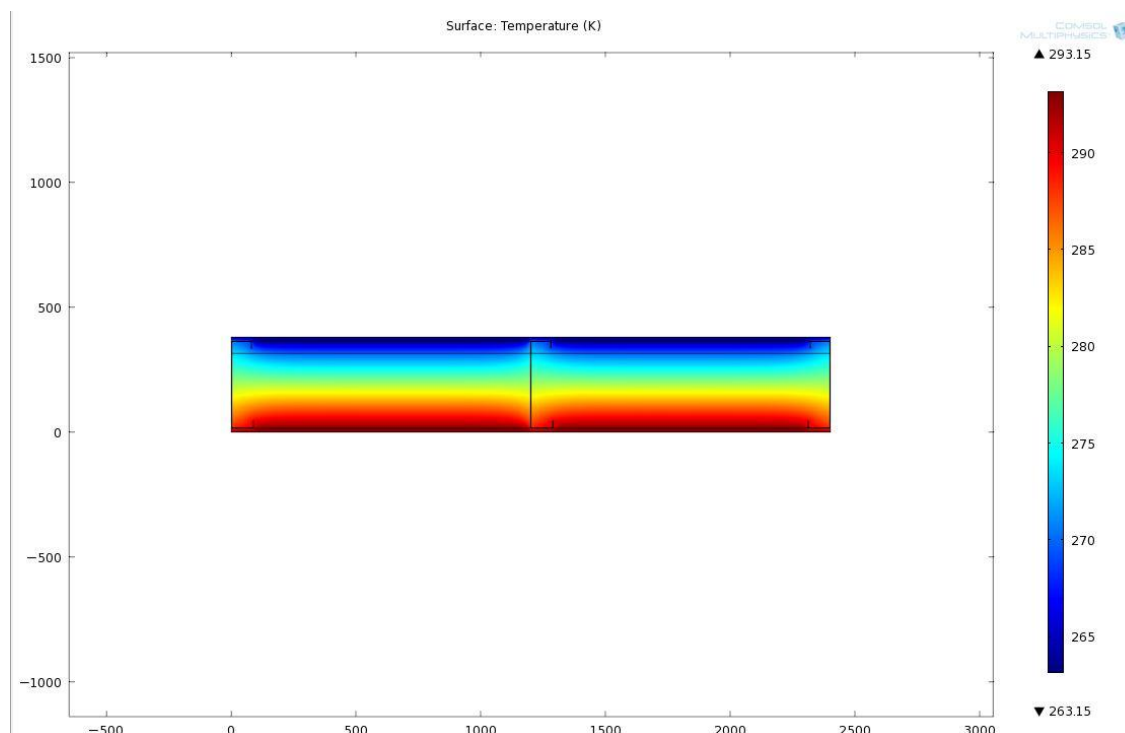
$$U = \frac{\phi}{A * \Delta T} \quad (6)$$

jossa  $U$  = lämmönläpäisykerroin, joka saadaan jakamalla aineen lämmönjohtavuus matkalla ts. rakenteen paksuudella [ $W/m^2K$ ].

Teräsrakenteisen elementin lämpövirran selvittämiseen käytettiin Comsol Multiphysics –ohjelman versiota 4.1. Ohjelman avulla voidaan mallintaa fysikaalisia ilmiöitä, ja tulokseksi saatiin lämpövirralle arvo  $\phi = 4,18 \text{ W}$ . Pinta-alan arvona laskennassa käytetään  $A = 1,0 \text{ m} * 1,2 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^2$ . Lämpötilaero on  $\Delta T = 30 \text{ K}$ , jolloin kaavasta 6 saadaan laskettua teräsrakenteelle tarkka  $U$ -arvo:

$$U = \frac{4,18 \text{ W}}{1,2 \text{ m}^2 * 30 \text{ K}} = 0,116 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tämä tarkalla menetelmällä saatu arvo on hieman huonompi, kuin Rakentamismääräyskokoelma C3:n antama vertailu arvo.



Kuva 6 Comsol Multiphysics 4.1 –ohjelmalla saatu lämpömalli teräselementistä. Lämpömallissa ulkona on  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ta pakkasta ja sisällä  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ta lämmintä. Malli on leveydeltään 1,2 m ja pituussuunnassa sen oletetaan olevan 1 m.

#### 4.7.4 Puurakenteisen elementin U-arvo

Puurakenteisen huopakattoelementin materiaalipaksuudet, materiaalien lämmönjohtavuudet ja lämmönvastukset näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Puurakenteisen elementin ainekerrosten lämmönvastukset

Ainekerrokset	Paksuus $d[\text{mm}]$	Lämmönjohtavuus $\lambda_u[\text{W/mK}]$	Lämmönvastus $R=d/\lambda_u[\text{m}^2\text{K}]$
Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$			0,1
Kipsilevy	15	0,21	0,07
Höyrynsulku			0,02
Paroc ROS 30g	300	0,036	8,33
Kerto-S	360	0,12	3
SPU AL	60	0,022	2,72
Vaneri	15	0,13	0,12
Huopa	20	0,23	0,09
Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$			0,04
$R_T$			14,5

Taulukossa 2 olevalla  $R_T$ :n arvolla ei saada laskettua  $U$ -arvoa, sillä on huomioitava puun ja eristeen suhteelliset osuudet vuoden 2003 Rakentamismääräyskokoelma C4:n mukaan[16.].

$$\int_{puu} = 51 \div 600 = 0,085$$

$$\int_{Paroc\ ROS\ 30g} = 549 \div 600 = 0,915$$

$$\int_{SPU} = 549 \div 600 = 0,915$$

$$R_{puu+Paroc} = \frac{1}{\frac{0,085}{3} + \frac{0,915}{8,33}} = 7,48\ m^2K/W$$

$$R_{puu+SPU} = \frac{1}{\frac{0,085}{3} + \frac{0,915}{2,72}} = 2,74\ m^2K/W$$

$$R_T = 0,1 + 0,07 + 0,02 + 7,48 + 2,74 + 0,12 + 0,09 + 0,04 = 10,66\ m^2K/W$$

$$U = 0,094\ W/m^2K$$

Tämä on hieman huonompi, kuin Rakentamismääräyskokoelma C3:n vertailuarvo.

Rakentamismääräyskokoelma C4 on uudistumassa vuonna 2012, ja sen luonnosversiossa on uusi ohje  $U$ -arvon laskemiseen. Koska elementissä on lämpövirran suuntaan nähden rinnakkain lämmönjohtavuudeltaan erilaisia ainekerroksia, on laskettava rakennusosan kokonaislämmönvastukselle uuden ohjeen mukaan ylälikiarvo ( $R'_T$ ) ja alaliikiarvo ( $R''_T$ ). Näiden arvojen keskiarvo on tällöin rakennusosan kokonaislämmönvastus ( $R_T$ ), jonka avulla saadaan laskettua rakenteelle tarkka  $U$ -arvo. [12.]

Puurakenteisen elementin ylä- ja alaliikiarvojen laskut näkyvät kokonaisuudessaan liitteessä 1. Ylälikiarvoksi saatiin  $R'_T = 9,6\ m^2K/W$  ja alaliikiarvoksi

$R_T'' = 9,46 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ . Lopullinen kokonaislämmönvastus  $R_T$  saatiin laskemalla

ylä- ja alalikiarvon keskiarvo:

$$R_T = \frac{(9,6 + 9,46)}{2} = 9,53 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Myös ylä- ja alalikiarvojen laskentaa varten tarvitaan puun ja eristeen suhteelliset osuudet, jotka on laskettu ylempänä. [12.]

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3:n yläpohjan vertailuarvo  $U$ -arvon laskentaan on  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ :ä. Laskelmista (liite 1) kävi ilmi, että puurakenteisen elementin  $U$ -arvoksi tuli  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ :ä, joka on hiukan huonompi, kuin C3:n vertailuarvo.

#### 4.8 Elementin kiinnitys kattoristikoihin

Kiinnikkeenä elementin ja kattoristikon välillä on kulmarauta, joka kiinnitetään etukäteen kattoristikoon joko ruuvaamalla tai hitsaamalla. Kun elementti on asetettu paikalleen, se ruuvataan kiinni kulmarautaan. Ruuvien lukumäärä yhdessä kiinnikkeessä saadaan mitoittamalla yhden ruuvin kestävyys, yhteen kiinnityskohtaan kohdistuvat voimat ja jakamalla kiinnityskohtaan kohdistuva voima ruuvin kestävyydellä.

Tuulen imu aiheuttaa elementtiin voiman. Lisäksi kalteva pinta aiheuttaa leikkausvoimaa kiinnitysruuveille. Elementin kiinnitys kattoristikoihin mitoitetaan näille voimille. Kiinnityksessä käytetään ruuveja, joiden lujuusluokka on 8.8 ja halkaisija  $d = 4 \text{ mm}$ . Liitteessä 3 olevista laskelmista saatiin tulokseksi yhden ruuvin kestävän  $4825 \text{ N}$ :a leikkausta ja  $3952 \text{ N}$ :a vetoa. Laskennassa käytettiin SFS-EN 1993-1-8 –standardin taulukkoa 3.4 (s. 28), jossa on kaavat yhden kiinnittimen kestävyyksien mitoitusarvojen laskemiselle.

Laskelman (liite 8) perusteella imuvoimalle riittäisi kaksi lujuusluokan 8.8 ruuvia, jonka halkaisija on  $d = 4 \text{ mm}$ . Elementin omapaino aiheuttaa jonkin verran pienenennystä imuvoimaan, mutta sitä ei huomioida tässä, koska ruuveja laitetaan joka tapauksessa kiinnikkeeseen enemmän kuin kaksi.

Laskelmasta (liite 4) kävi ilmi, että leikkausvoimalle riittäisi yksi lujuusluokan 8.8 ja halkaisijaltaan  $d=4$  mm ruuvia yhdessä kiinnityskohdassa.

Ruuveja olisi yhdessä kiinnityskohdassa laskelmien perusteella yhteensä 3 kpl:ta. Kiinnityksessä käytetään varmuuden vuoksi 4:ää ruuvia, eli yksi elementti kiinnittyy yhteensä 24 ruuvilla, kun kiinnityskohtia on elementtiä kohden kuusi.

## **5 Rakenteiden vertailu**

Huopakattoelementtiä suunniteltaessa lasketaan aluksi kantava rakenne ja tämän jälkeen tarkastellaan materiaalikustannuksia molempien rakennusaineiden osalta. Vertailuun otettiin Kerto-S palkki sekä C-profiili kevytorsin. Kustannuslaskenta sisältää kaikkien elementin vaatimien materiaalien kustannukset. Tarjoukset on pyydetty suoraan valmistajilta tai jälleenmyyjiltä.

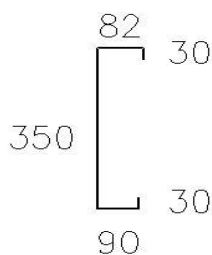
### **5.1 Kantavan rakenteen laskenta**

Kattoelementin kantavan palkin laskennassa käytettiin puun osalta Lyhennetyin suunnitteluohjeen toista painosta, joka perustuu Eurokoodi 5:een. Teräspalkin laskennassa käytettiin SFS-EN 1993-1-1:tä ja SFS-EN 1993-1-3:sta. Lumi-kuorma laskettiin Lyhennetyin suunnitteluohjeen mukaisesti. Elementin oman painon laskennassa käytettiin materiaalien valmistajien antamia, kuormien laskentaan tarkoitettuja arvoja.

#### **5.1.1 Teräsprofiili**

Teräsprofiilin mitoituksessa käytettiin Ruukin PurCalc-mitoitusohjelmaa. Laskelmista (liite 19) saatiin tulokseksi, että kantavana orsirakenteena voidaan käyttää C-profiilia, jonka mitat on esitetty kuvassa 7:





Kuva 7. C-profiilin leikkaus, ainevahvuus 2 mm

Tällaisia orsia menisi elementtiin 3 kpl, jolloin niiden jako olisi k1200. Tämä orsi-jako olisi eristeiden kannalta sopiva, sillä tässä työssä käytettävät eristeet valmistetaan 1200 mm:n levyisinä, jolloin eristelevyt menevät kokonaisina profiilien väliin. Näin vältetään turha materiaalihukka ja aikaa säästyy työn osalta, kun ei tarvitse lyhentää eristelevyjä.

Mitoituksessa huomattiin, että profiiliksi olisi riittänyt 300 mm:n korkuinen C-profiili. Mitoitus tehtiin myös 350 mm:n korkuiselle profiilille. Korkeampi profiili valittiin, jotta kaikki eristeet saadaan asennettua elementin sisälle.

### 5.1.2 Kertopuupalkki

Laskelmissa (liite 2) kävi ilmi, että 51 mm \* 360 mm:n kokoinen Kerto-S palkki kestää k600 jaolla. Tällöin palkkeja olisi elementissä 5 kpl:ta.

Jako olisi eristeiden kannalta hieman hankala, sillä palkkien väliin jää 549 mm:n eristetila. Kun eristeen leveys on 1200 mm, sitä joudutaan pienentämään ja myös materiaalihukka olisi suurempi verrattuna C-profiiliseen elementtiin.

## 5.2 Kustannuslaskenta

Kustannuslaskennassa huomioitavia asioita ovat materiaalikustannukset. Myös elementin kokoamiseen kuluvat työkustannukset olisi tärkeää ottaa huomioon, mitä ei kuitenkaan tässä työssä tehty. Tähän on hyvät perustelut, sillä Rakennustiedon julkaisemista Ratu –korteista ei löytynyt korttia, jolla saadaan lasketua työtunnit elementin kokoamiselle. Ratu –korttien avulla voidaan laskea työtuonteja paikalla rakentamiselle, muttei teollisuudessa tapahtuvalle elementtirakentamiselle. Toimeksiantajalla ei ole aikaisempaa tietoa tällaisen elementin kokoamiseen kuluvista työtunneista, sillä he eivät ole aiemmin valmistaneet kat-

toelementtejä itse. Tämän takia toimeksiantajakaan ei voinut antaa tarkkaa tietoa, jonka avulla olisi voitu laskea hinta elementin tehdastyölle. Muilta elementti tehtailta ei kyselty työtunteja tai hintoja. Valmistaja ei yleensä luovuta tällaista tietoa ulkopuolisille tai kilpailijoille.

Elementtien lasketut materiaalihinnat ovat alv 0 %:a hintoja. Tarjoukset on pyydetty materiaalien valmistajilta ja jälleenmyyjiltä. Hinnat tiedusteltiin toimeksiantajalla, sillä usein yrityksillä on jälleenmyyjien kanssa sovittuna materiaaleille alennetut hinnat.

Laskettavissa neliöhinnoissa ei ole huomioitu materiaalihukkaa, joka täytyisi huomioida ainakin eristeiden, kipsilevyn ja vanerin osalta. Tässä työssä hukka on huomioitu edullisemmaksi todetun elementin osalta. Materiaalit sopivat teoriassa elementtiin siten, ettei hukkaa synny ja perustelut käyvät ilmi liitteestä 5. Käytännössä eristeet eivät kuitenkaan aina asetu paikalleen ilman pientä leikkaamista. Tässä tapauksessa materiaali hukka on kuitenkin niin pieni, että sillä ei mielestäni ole merkittävää vaikutusta kustannuksiin.

### 5.2.1 Teräsrakenteisen elementin hinta

Taulukosta 3 nähdään teräsrakenteisen elementin materiaalien kustannukset.

Taulukko 3 Teräsrakenteisen elementin kustannukset

	€/jm	jm	€/elementti
C-profiili	8,7	18	156,6
päätypelti 0,7 mm	5,3	5	26,5
	€/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	
Palokipsilevy 15 mm	5,35	14,4	77,0
Paroc ROS 30g 300 mm	34,2	14,4	492,5
SPU AL 50 mm	11,62	14,4	167,3
Havuvaneri	7,48	14,4	107,7
Höyrynsulku	0,48	14,4	6,9
	€/rll	rll/elementti	
Aluskermi 4100 UT TL2	48,00	2,33	111,8
Pintakermi 5100 T TL2	55	2,33	128,15
Yhteensä			1274,5
Neliöhinta	88,5 €/m <sup>2</sup>		

Jokaiselle materiaalille laskettiin hinta yhtä elementtiä kohti ja näiden yhteenlaskettu summa on elementin kokonaishinta [€/elementti]. Hinnat ovat alv 0 %:a hintoja. Tämän elementin neliöhinta on 88,5 €/m<sup>2</sup>:lle. Neliöhinta saatiin jakamalla kokonaishinta elementin pinta-alalla  $A=14,4 \text{ m}^2$ .

### 5.2.2 Kertopuurakenteisen elementin hinta

Taulukosta 4 nähdään puurakenteisen elementin kustannukset.

Taulukko 4 Puurakenteisen elementin kustannukset

	€/jm	jm	€/elementti
Kerto-S 51x360 mm	12,39	30	371,7
Sahatavara 48x123 mm	2,5	4,4	11,0
	€/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	
Palokipsilevy 15 mm	5,35	14,4	77,0
Paroc ROS 30g 300 mm	34,2	14,4	492,5
SPU AL 50 mm	11,62	14,4	167,3
Havuvaner	7,48	14,4	107,7
Höyrynsulku	0,48	14,4	6,9
	€/rll	rll/elementti	
Aluskermi 4100 UT TL2	48,00	2,33	111,8
Pintakermi 5100 T TL2	55	2,33	128,15
Yhteensä			1557,9
Neliöhinta	<b>108,2 €/m<sup>2</sup></b>		

Jokaiselle materiaalille on laskettu kustannukset elementtiä kohti [€/elementti] ja laskettu näistä yhteishinta, joka on yhden elementin kokonaishinta. Hinnat ovat alv 0 %:a hintoja. Tämän elementin neliöhinta on 108,2 €/m<sup>2</sup>:lle. Elementin neliöhinta saatiin jakamalla elementin kokonaishinta yhden elementin pinta-alalla  $A=14,4 \text{ m}^2$ .

## 6 Tulokset

Kustannusvertailussa kävi ilmi, että teräsrakenteinen kattoelementti tulee materiaalikustannuksiltaan halvemmaksi verrattuna puurakenteiseen kattoelementtiin. Teräsrakenteinen elementti on neliö hinnaltaan 19,7 €:a eli noin 18 %:a halvempi kuin puurakenteinen. Jos hallin pinta-ala on n. 1000 m<sup>2</sup>, voidaan laskea karkeasti katon olevan 19700 €:a halvempi teräsrakenteisilla elementeillä toteutettuna.

Kun tiedossa oli, että elementti toteutetaan teräsrakenteisena, alkoi elementin suunnittelu. Elementille tehtiin diffuusiolaskelmat taulukoihin talvi-, kesä- ja kevätolosuhteissa (liitteet 9-11). Taulukoissa käytetyt kaavat löytyvät liitteestä 20. Laskemien perusteella saatiin tieto, miten lämmöneristeet kannattaa sijoittaa elementtiin, jotta se olisi kosteusteknisesti toimiva. Diffuusiolaskelman avulla selvitetään, tiivistyykö rakenteisiin kosteutta ja rakennetta yritettiin muuttaa alkuperäisistä suunnitelmista sellaiseksi, että kosteutta ei pääsisi tiivistymään materiaalien pinnoille. Tällaista tilannetta on kuitenkin hankala saavuttaa, joten loppujen lopuksi päädyttiin käyttämään tuuletuksen lisänä alipainetuuletinta harjalla.

Teräsrakenteisesta elementistä tehtiin lopulliset suunnitelmat (liitteet 12–18) diffuusiolaskelman jälkeen. Suunnitelmiin kuuluu seuraavat kuvat:

- elementti kuvattuna ylhäältä (liite 12)
- leikkaus päädyistä (liite 13)
- leikkaus sauman kohdalta pitkällä sivulla (liite 14)
- leikkaus saumankohdalta tuella (liite 15)
- detelji kulmaraudan kiinnityksestä (liite 16)
- leikkaus harjalla (liite 17)
- vaneri- ja kipsilevyjen sijoitus elementtiin (liite 18)

Kuvien lisäksi on huomioitava asennusvaiheessa tässä työssä aiemmin tarkennetut asiat esimerkiksi saumojen osalta.

Elementin liittymisestä räystäääseen ei ole kuvaa, sillä jokainen toteutettava halli on hieman erilainen ja näin ollen räystäsrakenne voi muuttua. Räystäслиitos suunnitellaan jokaiselle hallille erikseen.

Luvun 4.8 Elementin kiinnitys kattoristikoihin laskelmien mukaan elementti kiinnittyy yläpohjaan neljästä kohdasta. Kiinnityksessä käytetään kulmarautaa ja ruuveja. Yhteen kiinnityskohtaan tarvitaan laskelmien mukaan yhteensä 3 lujuusluokan 8.8 ruuvia, joiden halkaisija  $d=4$  mm. Kiinnitys toteutetaan laskelmista huolimatta kuudesta kohdasta, jolloin ollaan varmemmalla puolella. Näin saadaan kiinnike elementin molempiin päihin jokaisen C-profiilin kohdalle. Kiin-

nityksessä käytetään kulmarautaa, joka kiinnittyy elementtiin 4 ruuvilla. Näin saadaan kiinnitykseen lisää varmuutta.

## 7 Pohdinta

Elementin suunnittelu ei ollutkaan aivan niin yksinkertaista, kuin alun perin aiheen saatuani kuvittelin. Koko ajan tuli uusia asioita, mitä täytyy ottaa huomioon, ja ideoita toisen perään, kuinka toteuttaa elementti. Suunnitelmat muuttuivat matkanvarrella mielessä. Haasteellista on saada elementti käytännössä todella tiiviiksi. Tässä asiassa työnjohdon on oltava tarkkana ja tehtävä työntekijöille selväksi, että saumoissa käytettävä massa on pursotettava kiinni höyrynsulkuun.

Lopullinen tulos kantavan rakenteen materiaali valinnasta oli mielestäni melko selvä jo ennen kustannusvertailua. Kun tulokset C-profiilin ja Kerto-S palkin koosta olivat tiedossa, pystyin päättämään, että C-profiili tulee halvemmaksi. Puuta olisi pitänyt laittaa elementtiin 18 m enemmän kuin terästä, joten hinta oli arvattavasti korkeampi. Mielestäni teräsrakenteinen elementti oli tässä tapauksessa parempi vaihtoehto hinnan lisäksi keveytensä puolesta. Yksi puuelementti olisi painanut n. 1130 kg ja C-profiilista tehty painaa n. 970 kg. Paino ero ei ole suuri, eikä kumpikaan elementti ole painava kun verrataan esimerkiksi ontelolaattaan, joka valmistetaan betonista. Kuitenkin, mitä kevyempi elementti on, sitä helpompi se on siirtää paikalleen.

Kun vertailin vuoden 2003 C4:n ja luonnosvaiheessa olleen vuoden 2012 C4:n perusteella laskemiani puuelementin  $U$ -arvoja, eroa syntyi jonkin verran. Menetelmällä, jossa lasketaan ylä- ja alalikiarvot, saadaan tarkempi tulos. Tässä tapauksessa luonnosversiolla laskettu  $U$ -arvo oli odotetusti huonompi, kuin vuoden 2003 C4:n mukaan laskettu arvo. Kun rakenteessa on rinnakkain ainekerroksia, joiden lämmönjohtavuuden arvot poikkeavat suuresti toisistaan, syntyy rakenteeseen kylmäsiltoja. On hyvä asia, että  $U$ -arvon laskentamenetelmää on tarkennettu ja lämmönjohtavuudeltaan erilaiset ainekerrokset otetaan paremmin tarkastelun kohteeksi. Vaikka ylä- ja alalikiarvomenetelmällä laskettu  $U$ -arvo jäi alle Rakentamismääräyskokoelma C3:n vertailuarvon, ei lämmöneristettä tarvit-

se lisätä elementtiin, sillä tämä laskentamenetelmä oli opinnäytetyötä tehtäessä vasta luonnosvaiheessa.

Teräsrakenteisen rakenteen  $U$ -arvon laskentaan ei ole ohjetta C4:ssa. Käytin laskennassa Comsol Multiphysics 4.1 –ohjelmasta saamaani lämpövirran tulosta, jonka avulla  $U$ -arvo saadaan laskettua. Vertailun vuoksi laskin teräselementin  $U$ -arvon myös C4:n mukaan. Kuten C4:ssa mainitaan, perinteinen menetelmä ei sovi tällaiselle rakenteelle teräksen aiheuttaman kylmäsilan vuoksi. Tämän voi päätellä siitä, että tulos on noin kaksi kertaa huonompi, kuin tarkalla menetelmällä saatu tulos. Teräselementin  $U$ -arvo ei ole aivan vaaditulla tasolla. Lämmönerityskerroksen kasvattaminen olisi yksi keino parantaa arvoa. Mielestäni se ei ole tässä tapauksessa pakollista, sillä teollisuushalleissa koneista ja laitteista yms. aiheutuva lämpöhukka voidaan huomioida parantavana tekijänä  $U$ -arvolle. Tämä kuitenkin vaihtelee kohteittain.

$U$ -arvon laskennan jälkeen rakenne muuttui jonkin verran alkuperäisestä. Lämmöneristeet vaihtoivat paikkaa, eli SPU AL muutettiin ulkopinnasta sisäpintaan. Lisäksi rakenteeseen tuli tuuletusrako. Tästä rakenteesta en tehnyt erikseen tarkastelua  $U$ -arvon suhteen, sillä materiaalit ja niiden paksuudet pysyivät samana, jolloin tulos ei muutu. Tuuletusraon lisääminen rakenteeseen ei myöskään oletettavasti tee suurta muutosta  $U$ -arvoon, sillä rako on vain 22 mm korkea.

Kun pohdiskelin, mitä asioita huomioin kustannuslaskennassa, päätin ottaa vertailuun ainoastaan materiaalikustannukset. Toimeksiantajan pyyntö oli vertailla materiaalikustannuksia, mutta sen lisäksi kustannusvertailussa olisivat voineet olla myös työkustannukset ja asennuskustannukset. Erityisesti elementin valmistukseen kuluvat työkustannukset olisi kannattanut vertailla. Kuten luvusta 5.2 Kustannuslaskenta käy ilmi, olisi tässä työssä ollut hankala tehdä vertailua työkustannuksista elementtien välillä. Koska Ratu –kortistosta ei ollut apua, eikä toimeksiantajallakaan ollut aiempaa tietoa kattoelementtien kokoamiskustannuksista, jätettiin niiden vertailu kokonaan pois. Myös asennuskustannusten vertailu kävi jossain vaiheessa mielessä, mutta päätin jättää sen pois. Elementtien välillä ei ole niin suurta painoeroa, että toinen tarvitsisi suuremman nosturin, joten kalliimmasta nosturin vuokrasta ei olisi aiheutunut lisäkustannuksia. Lisäksi rakennuksen tontin koko vaikuttaa nosturin valintaan, sillä pienemmillä

tonteilla ei välttämättä päästä ajamaan hallin ympäri. Tällöin on valittava suurempi nosturi, jotta elementit yletetään nostaa yhdeltä sivulta joka puolelle hallia. Kiinnitys kattoristikkaan olisi tapahtunut puuelementillä samalla tavalla kuin teräksisellä, joten asennus- ja kiinnityskustannuksetkaan eivät varmasti poikkea paljon näiden kahden välillä. Yksi jatkotutkimusaihe voisi olla asennus- ja valmistuskustannusten vertailu puu- ja teräsrakenteisen elementin välillä. Vertailu on mahdollinen ainoastaan siinä tapauksessa, jos saadaan luotettavaa tietoa elementtivalmistajilta. Luulen, että valmistuskustannuksia on hankala saada, sillä valmistajat eivät usein luovu tällaisesta tiedosta.

Kustannusvertailuun jälkeen tein diffuusiolaskelmat erilaisille rakenteille. Alun perin suunnittelin elementin olevan täysin tuulettumaton, ja rakenteen olevan seuraavanlainen sisältä ulospäin:

- kipsilevy
- höyrynsulku
- Paroc ROS 30g
- SPU AL
- vaneri
- kumibitumikermi

Tehtyäni diffuusiolaskelman tällaiselle rakenteelle, huomasin, että kosteutta tiivistyy talviolosuhteissa ( $t_e = -13,5$  °C ja  $RH_e = 84$ %) mineraalivillan pintaan ja siitä ylöspäin vaneriin asti. Tällainen rakenne ei toimi, koska tuuletusta ei ole, joten villa ei pääse kesälläkään kuivumaan. Lisäksi SPU AL –eristeen pinnoite on niin tiivis, että villa jää pussiin höyrynsulun ja SPU AL –eristeen väliin. Niinpä muutin rakennetta siten, että vaihdoin Paroc –eristeen ja SPU –eristeen paikkoja, eli siirsin tiiviimmän eristeen sisemmäksi rakenteessa. Lisäksi ajattelin rakenteeseen pienen tuuletusraon, jolloin rakenne on seuraavanlainen sisältä ulospäin:

- kipsilevy
- höyrynsulku
- SPU AL
- Paroc ROC 30g
- tuuletusrako
- vaneri

– kumibitumikermi

Näin ollen kosteutta tiivistyisi samoissa talviolosuhteissa jälleen Paroc –eristeen pinnalle, mutta tilanne ei ole yhtä paha, kuin ensimmäisessä tapauksessa. Heti mineraalivillan jälkeen on tuuletusrako, jonka ansiosta villat pääsevät tuulettumaan ja ilman kiertäessä kosteus haihtuu. Kosteutta näyttäisi tiivistyvän  $1,87 \text{ g/m}^3$ , mikä ei mielestäni ole kovin suuri määrä. Toisaalta pakkasen puolella oltaessa pienikin määrä tiivistynyttä kosteutta jäätyy, mikä ei ole hyväksi lämmöneristeelle.

Tarkastelin diffuusiolaskelman avulla (liite 11), missä vaiheessa keväällä ei enää tiivistyisi kosteutta. Olosuhteiden ollessa  $t_e = +7 \text{ °C}$  ja  $RH_e = 70-75\%$  kosteutta ei tiivisty villan pintaan. Koska kosteutta kuitenkin tiivistyy talviolosuhteissa, on mielestäni käytettävä alipainetuuletinta harjalla, jotta katosta tulisi toimiva.

Katon suunnittelussa on huomioitava savun- ja vedenpoisto. Savunpoistoluukun liittymisestä elementtiin ei ole kuvaa, sillä savunpoistoluukkuja on eri valmistajilla erilaisia, jolloin luukku voi kohdekohtaisesti vaihdella. Koska elementin C-profiilien jako on niin suuri (1200 mm), mahtuvat yleisimmin käytetyt savunpoistoluukut profiilien väliin. Savunpoistoluukkuja valmistavat esimerkiksi Icopal Oy ja Keraplast Oy. Suunniteltaessa luukun paikkaa elementissä on huomioitava sen ja sitä tukevien rakenneosien tuoma rakenteen lisäpaino. En usko, että lisäpainon takia profiilien kokoa jouduttaisiin kasvattamaan, sillä profiili on valmiiksi vaadittua suurempi. Luukku voitaisiin tukea esimerkiksi asentamalla C-profiilien välille puiset tai teräksiset kannakkeet.

Vedenpoisto katolta tapahtuu joko sisäisesti tai ulkoisesti. Jos rakennukseen suunnitellaan ulkoinen vedenpoisto, ei elementtiin siinä tapauksessa tule kaivojen läpivientejä, vaan vedet valuvat räystäskouruun. Jos vedenpoisto on sisäinen, tulee katolle rakennettavaksi kattokaivoja, joihin vesi valuu. Tällaisessa tapauksessa on elementtiin tehtävä läpivientejä ja näin ollen on suunniteltava tarkkaan läpiviennin ilman- ja vedenpitävyys. Kattokaivojen läpivienneistä ei ole kuvaa, sillä vedenpoisto suunnitellaan kohdekohtaisesti kuten savunpoistoluukutkin. Yksi jatkotutkimuksen ja suunnittelun aihe voisi olla savunpoistoluukkujen ja mahdollisten kattokaivojen läpiviennit järkevästi ja kustannustehokkaasti.



Muita lisätutkimuksen aiheita olisi tutkia rakenteiden kustannuksia pidemmillä jänneväleillä. Opinnäytetyössäni jänneväli pysyy vakiona, koska toimeksiantajan mukaan heidän toteuttamissaan kohteissa kattoristikkojako on yleensä sama. Olisikin kiinnostavaa tietää, miten kustannukset kehittyvät jännevälin kasvaessa.

## Lähteet

- 1 Ryynänen, H. Rakennusmestari. JHM-Invest Oy. Kevät 2012.  
Haastattelija Vallius, T.
- 2 Kilpeläinen, M., Ukonmaanaho, A., Kivimäki, M. 2001. Avoin puura-kennusjärjestelmä – elementtirakenteet. Vammala: Wood Focus Oy
- 3 Kattoliitto Ry. Toimivat katot. 2007. Saatavana:  
<http://www.kattoliitto.fi/index.phtml?s=2> 18.2.2012
- 4 Rautaruukki Oyj. Esivalmistetut kattoelementit, rakentamisen ratkaisut, tuotteet ja ratkaisut. 14.2.2012. Saatavana:  
<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Esivalmistetut-kattoelementit> 28.2.2012
- 5 Myllylä, P., Aho, H. Puurakenteisen yläpohjaelementin palonkestävyys. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. 2012. Saatavana:  
[http://info.pelastusopisto.fi/kirjasto/PTP09/PTP09\\_Sivut%2038-43.pdf](http://info.pelastusopisto.fi/kirjasto/PTP09/PTP09_Sivut%2038-43.pdf) 28.1.2012
- 6 Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Tampere: Rakennustieto Oy.
- 7 Ympäristöministeriö. 22.3.2005. E2 Suomen rakentamismääräyskokoelma Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus Ohjeet 2005. Helsinki.
- 8 Kinnunen, J., Saarinen, E., Tiira, S., Ulvinen, S., Väänänen, E. 1989. Teräsrakenteiden suunnittelu. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.
- 9 Suomen kaukokiito Oy. 2008. Täysperävaunu, kalusto. Saatavana:  
<http://www.kaukokiito.fi/fi/Kalusto/T%C3%A4ysper%C3%A4vaunu/> 28.2.2012.

- 10 Rakennustietosäätiö RTS. 2010. RunkoRYL 2010 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset Talonrakennuksen runkotyöt RT 14-11016. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 11 Ympäristöministeriö. 22.12.2008. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma Rakennusten lämmöneristys Määräykset 2010. Helsinki.
- 12 Ympäristöministeriö. 16.3.2012. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma Lämmöneristys Ohjeet 2010 Luonnos 16.3.2012. Helsinki.
- 13 Laitinen, E. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 1995. Teollinen puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 14 Saarni, R. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 1994. Teräsrakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 15 Kevarinmäki, A. 2010. Puurakenteiden suunnitteluohje - Lyhennetty suunnitteluohje. Toinen painos. Puuinfo Oy.
- 16 Ympäristöministeriö. 30.10.2002. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma Lämmöneristys Ohjeet 2003. Helsinki.
- 17 Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy / Gyproc. Gyproc GF 15 Protect F, levyt, tuotteet. 2012. Saatavana: <http://www.gyproc.fi/tuotteet/43/levyt/3126/gyproc-gf-15-protect-f> 24.3.2012
- 18 Metsä Group Oy. 2012. Metsä Wood –kattoelementti, katot, ammattirakentaminen. Saatavana: <http://www.metsawood.fi/ammattirakentaminen/katto/Pages/Mets%C3%A4Wood-kattoelementti.aspx> 24.3.2012.
- 19 Hautala M., Peltonen H. & Lahden teho-opetus Oy. 2007. Insinöörin (AMK) FYSIIKKA OSA 1. Saarijärvi: Saarijärven OFFSET Oy
- 20 Rautaruukki Oyj. C-orssi, kevytorret, rakentamisen ratkaisut, tuotteet ja ratkaisut. 5.10.2011. Saatavana: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Rakentamisen-ratkaisut/Kevytorret/C-purlin/> 24.3.2012.

## Liitteet

- 1 Puuelementin U-arvon ylä- ja alalikiarvon laskenta
- 2 Puuelementin kantavan rakenteen laskenta
- 3 Mitoituksessa käytettyjen ruuvien kestävyys
- 4 Kiinnitysruuvien mitoitus leikkaukselle
- 5 Liinojen sijoittaminen nostovaiheessa
- 6 Materiaalihukat
- 7 Rakennusmateriaaleista aiheutuva rakenteen oma paino
- 8 Kiinnitysruuvien mitoitus vedolle
- 9 Diffuusiolaskelma talviolosuhteissa
- 10 Diffuusiolaskelma kesäolosuhteissa
- 11 Diffuusiolaskelma kevätolosuhteissa
- 12 Kattoelementti ylhäältä, Leikkaukset A-A, B-B
- 13 Päätyleikkaus
- 14 Elementtien välinen sauma pitkällä sivulla
- 15 Elementin kiinnitys kattoristikon yläpaarteeseen
- 16 Elementin kiinnitys kattoristikon yläpaarteeseen det. 1
- 17 Elementtien välinen sauma harjalla
- 18 Elementin vaneri- ja kipsilevyjen sijoittaminen
- 19 C-profiilin mitoitus PurCalc –ohjelmalla
- 20 Diffuusiolaskelmissa käytetyt kaavat ja merkinnät

Ylälikiarvo $R_{Ta}$			
Ainekerrokset	Paksuus $d[\text{mm}]$	Lämmönjohtavuus $\lambda n[\text{W/mK}]$	Lämmönvastus $R=d/\lambda d[\text{m}^2\text{K/W}]$
Sisäpuolinen pinta- vastus $R_{si}$			0,1
Kipsilevy	15	0,21	0,07
Höyrynsulku			0,02
Kerto-S	360	0,12	3,00
Vaneri	15	0,13	0,12
Huopa	20	0,23	0,09
Ulkopuolinen pinta- vastus $R_{se}$			0,04
$R_{Ta}$			3,44

Ylälikiarvo $R_{Tb}$			
Ainekerrokset	Paksuus $d[\text{mm}]$	Lämmönjohtavuus $\lambda n[\text{W/mK}]$	Lämmönvastus $R=d/\lambda d[\text{m}^2\text{K/W}]$
Sisäpuolinen pinta- vastus $R_{si}$			0,1
Kipsilevy	15	0,21	0,07
Höyrynsulku			0,02
Paroc ROS 30g	300	0,036	8,33
Vaneri	15	0,13	0,12
SPU SP	60	0,022	2,72
Huopa	20	0,23	0,09
Ulkopuolinen pinta- vastus $R_{se}$			0,04
$R_{Tb}$			11,5

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{0,085}{3,44} + \frac{0,915}{11,5} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'_T = \frac{1}{0,09} = 9,6 \text{ m}^2\text{K/W}$$

<b>Alalikiarvo R<sub>ja</sub></b>			
Ainekerrokset	Paksuus d[mm]	Lämmönjohtavuus λ <sub>n</sub> [W/mK]	Lämmönvastus R=d/λ <sub>d</sub> [m <sup>2</sup> K/W]
SPU AL	60	0,022	2,72
Kerto-S (R <sub>ja</sub> )	60	0,12	0,5
R <sub>ja</sub>			3,22

<b>Alalikiarvo R<sub>jb</sub></b>			
Ainekerrokset	Paksuus d[mm]	Lämmönjohtavuus λ <sub>n</sub> [W/mK]	Lämmönvastus R=d/λ <sub>d</sub> [m <sup>2</sup> K/W]
Paroc ROS 30g (R <sub>jb</sub> )	300	0,036	8,33
Kerto-S (R <sub>ja</sub> )	300	0,12	2,5
R <sub>jb</sub>			10,83

$$\frac{1}{R_j''} = \frac{0,085}{3,22} + \frac{0,915}{10,83} = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_j'' = \frac{1}{0,11} = 9,0 \text{ m}^2\text{K/W}$$

<b>Alalikiarvo <math>R''_T</math></b>			
Ainekerrokset	Paksuus $d[\text{mm}]$	Lämmönjohtavuus $\lambda_n[\text{W/mK}]$	Lämmönvastus $R=d/\lambda_d[\text{m}^2\text{K/W}]$
Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$			0,1
Kipsilevy	15	0,21	0,07
Höyrynsulku			0,02
$R''_j$			9,0
Vaneri	15	0,13	0,12
Huopa	20	0,23	0,09
Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$			0,04

$$R''_T = 0,1 + 0,07 + 0,02 + 7,5 + 0,12 + 0,09 + 0,04 = 9,46 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = \frac{9,6 + 9,46}{2} = 9,53 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Lähtötietoja:

$$k/k = 600 \text{ mm}$$

$$j\ddot{a}nnev\ddot{a}li = 6000 \text{ mm}$$

$$LVL \text{ tilavuuspaino} = 5 \text{ kN/m}^3$$

$$mitat = b * h = 51 * 360 [\text{mm}^2]$$

Oman painon laskenta:

$$Eristeiden \text{ ym. paino} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$Palkkien \text{ paino} = 0,184 \text{ kN/m}^2$$

$$Yhteensä = 0,184 \text{ kN/m}^2 + 0,6 \text{ kN/m}^2 = 0,78 \text{ kN/m}^2$$

$$Omapaino = k/k * g_k = 0,6 \text{ m} * 0,78 \text{ kN/m}^2 = 0,47 \text{ kN/m}$$

Lumikuorman laskenta:

$$q_k = \mu_k * s_k$$

$$q_k = 0,8 * 2,75 \text{ kN/m}^2 = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

$$Lumikuorma = k/k * q_k = 0,6 \text{ m} * 2,2 \text{ kN/m}^2 = 1,32 \text{ kN/m}$$

Taipuma (hetkellinen)

$$w_{sall} = \frac{l}{400} = \frac{6000 \text{ mm}}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \left( \frac{51 \text{ mm} * 360^3 \text{ mm}^3}{12} \right) = 198288000 \text{ mm}^4$$

$$E = 13800 \text{ N/mm}^2$$

$$w_{inst,g} = \left( \frac{5}{384} \right) * \frac{p_k * l^4}{E * I} = \left( \frac{5}{384} \right) * \frac{0,47 \text{ N/mm} * (6000 \text{ mm})^4}{13800 \text{ N/mm}^2 * 198288000 \text{ mm}^4} = 2,9 \text{ mm}$$



$$w_{inst,lumi} = \left(\frac{5}{384}\right) * \frac{p_k * l^4}{E * I} = \left(\frac{5}{384}\right) * \frac{1,32 \text{ N/mm} * (6000 \text{ mm})^4}{13800 \text{ N/mm}^2 * 198288000 \text{ mm}^4} = 8,23 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,lumi} = 2,9 \text{ mm} + 8,23 \text{ mm} = 11,13 \text{ mm}$$

$$w_{sall} > w_{inst}$$

Taipuma (lopullinen)

$$k_{def} = 0,6$$

$$w_{inst,g} = \left(\frac{5}{384}\right) * \frac{p_k * l^4}{E * I} = \left(\frac{5}{384}\right) * \frac{0,47 \text{ N/mm} * (6000 \text{ mm})^4}{13800 \text{ N/mm}^2 * 198288000 \text{ mm}^4} = 2,9 \text{ mm}$$

$$w_{inst,lumi} = \left(\frac{5}{384}\right) * \frac{p_k * l^4}{E * I} = \left(\frac{5}{384}\right) * \frac{1,32 \text{ N/mm} * (6000 \text{ mm})^4}{13800 \text{ N/mm}^2 * 198288000 \text{ mm}^4} = 8,23 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} (1 + k_{def})w_{inst,g} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \\ (1 + k_{def})w_{inst,g} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{array} \right.$$

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} (1 + 0,6) * 2,9 \text{ mm} + (1 + 0,2 * 0,6) * 8,23 \text{ mm} \\ (1 + 0,6) * 2,9 \text{ mm} + (0,7 + 0,2 * 0,6) * 8,23 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{array}{l} 13,9 \text{ mm} \\ 11,4 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$w_{net,fin} = \frac{l}{300} = \frac{6000 \text{ mm}}{300} = 20 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin} > w_{fin}$$

Rasitukset

Murtorajatilan kuormat:

$$p_d = s * (1,15 * g_k + 1,5 * q_k)$$

$$p_d = 0,6 \text{ m} * \left(1,15 * 0,78 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 2,2 \text{ kN/m}^2\right) = 4,2 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,max} = \frac{p_d * l^2}{8} = \frac{4,2 \text{ N/mm} * (6000 \text{ mm})^2}{8} = 18886500 \text{ Nmm}$$

$$V_{d,max} = \frac{p_d l}{2} = \frac{4,2 \text{ N/mm} * 6000 \text{ mm}}{2} = 12600 \text{ N}$$

Taivutusmitoitus (murtorajatila)

$$W = \frac{b * h^2}{6} = \frac{51 \text{ mm} * (360 \text{ mm})^2}{6} = 1101600 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{md} = \frac{M_{d,max}}{W} = \frac{18886500 \text{ Nmm}}{1101600 \text{ mm}^3} = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{md} = k_{mod} * \frac{f_{mk}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{44 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 29,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{md} < f_{md}$$

Leikkausmitoitus (murtorajatila)

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_{d,max}}{b * h} = \frac{3}{2} * \frac{12600 \text{ N}}{51 \text{ mm} * 360 \text{ mm}} = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{4,1 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,73 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d < f_{v,d}$$

Tukipaine

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{\tau_d}{b * l_{tuki}} = \frac{12600 \text{ N}}{51 \text{ mm} * 48 \text{ mm}} = 5,14 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{6 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 4,0 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} k_{c,90} = \frac{48 \text{ mm} + 30 \text{ mm}}{48 \text{ mm}} 1,0 = 1,63$$

$$k_{c,\perp} f_{c,90,d} > \sigma_{c,90,d} = (1,63 * 4,0 \text{ N/mm}^2) = 6,5 \text{ N/mm}^2 > 5,14 \text{ N/mm}^2$$

Yhden kiinnittimen leikkaus- ja vetokestävyys lasketaan SFS-EN 1993-1-8 – standardin kaavoilla (s.28).

Leikkauskestävyys saadaan laskettua alla olevasta kaavasta.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$$

jossa  $\alpha_v = 0,6$  (Ruuvin lujuusluokassa 8.8)

$f_{ub}$  = ruuvin vetomurtolujuuden nimellisarvo [N/mm<sup>2</sup>]

$A$  = ruuvin poikkipinta-ala [mm<sup>2</sup>]

$\gamma_{M2}$  = osavarmuusluku, joka saadaan standardista SFS-EN 1993-1-1 s.48

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * 800 \text{ N/mm}^2 * (\pi * 2^2) \text{ mm}^2}{1,25} = 4825 \text{ N}$$

Vetokestävyys saadaan laskettua alla olevasta kaavasta.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * 0,78 * A}{\gamma_{M2}}$$

jossa  $k_2 = 0,63$  (Tämä arvo, jos ruuvi on uppokantainen)

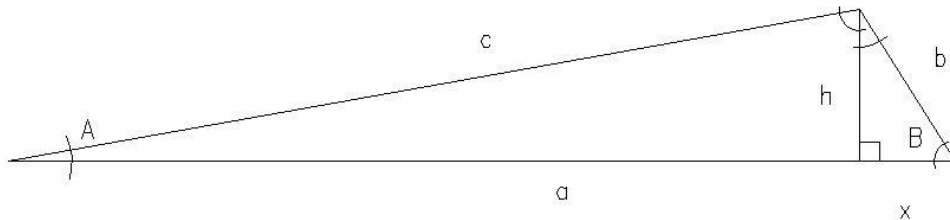
$f_{ub}$  = ruuvin vetomurtolujuuden nimellisarvo [N/mm<sup>2</sup>]

$A$  = ruuvin poikkipinta-ala [mm<sup>2</sup>]

$\gamma_{M2}$  = osavarmuusluku, joka saadaan standardista SFS-EN 1993-1-1 s.48

$$F_{t,Rd} = \frac{0,63 * 800 \text{ N/mm}^2 * 0,78 * (\pi * 2^2) \text{ mm}^2}{1,25} = 3952 \text{ N}$$

Leikkausvoima määritetään alla olevasta kuvasta. Kuva ei ole mittakaavassa, eivätkä kolmion sivut ole oikeassa suhteessa toisiinsa. Vastaavanlainen kuva ja kaavat löytyvät esimerkiksi MAOL taulukot –kirjasta tai Rakentajain kalenterista.



Tiedossa on kattokaltevuus 1:16 m ja lumesta sekä omapainosta aiheutuva kuorma, jotka vaikuttavat 1,2 m:n alueella:  $g_{oma+lumi} = (0,6 \text{ kN/m}^2 + 0,08 \text{ kN/m}^2) * 1,2 \text{ m} + 2,2 \text{ kN/m}^2 * 1,2 \text{ m} = 3,456 \text{ kN/m}$ . Tiedossa on  $b = 3,456 \text{ kN/m}^2$  ja  $c \approx 3,456 * \sqrt{(1^2 * 16^2)} \approx 55,4$ . Lisäksi tiedetään suuruus kulmalle  $A \approx 3,5^\circ$ . Näin ollen saadaan laskettua korkeuden arvo:

$$h = c * \sin A = 55,4 * \sin 3,5^\circ = 3,38 \text{ kN/m}$$

Näin saadaan Pythagoraan lauseen avulla laskettua  $x$ :

$$h^2 + x^2 = b^2$$

$$x = \sqrt{3,456^2 + 3,38^2} = 0,72 \text{ kN/m}$$

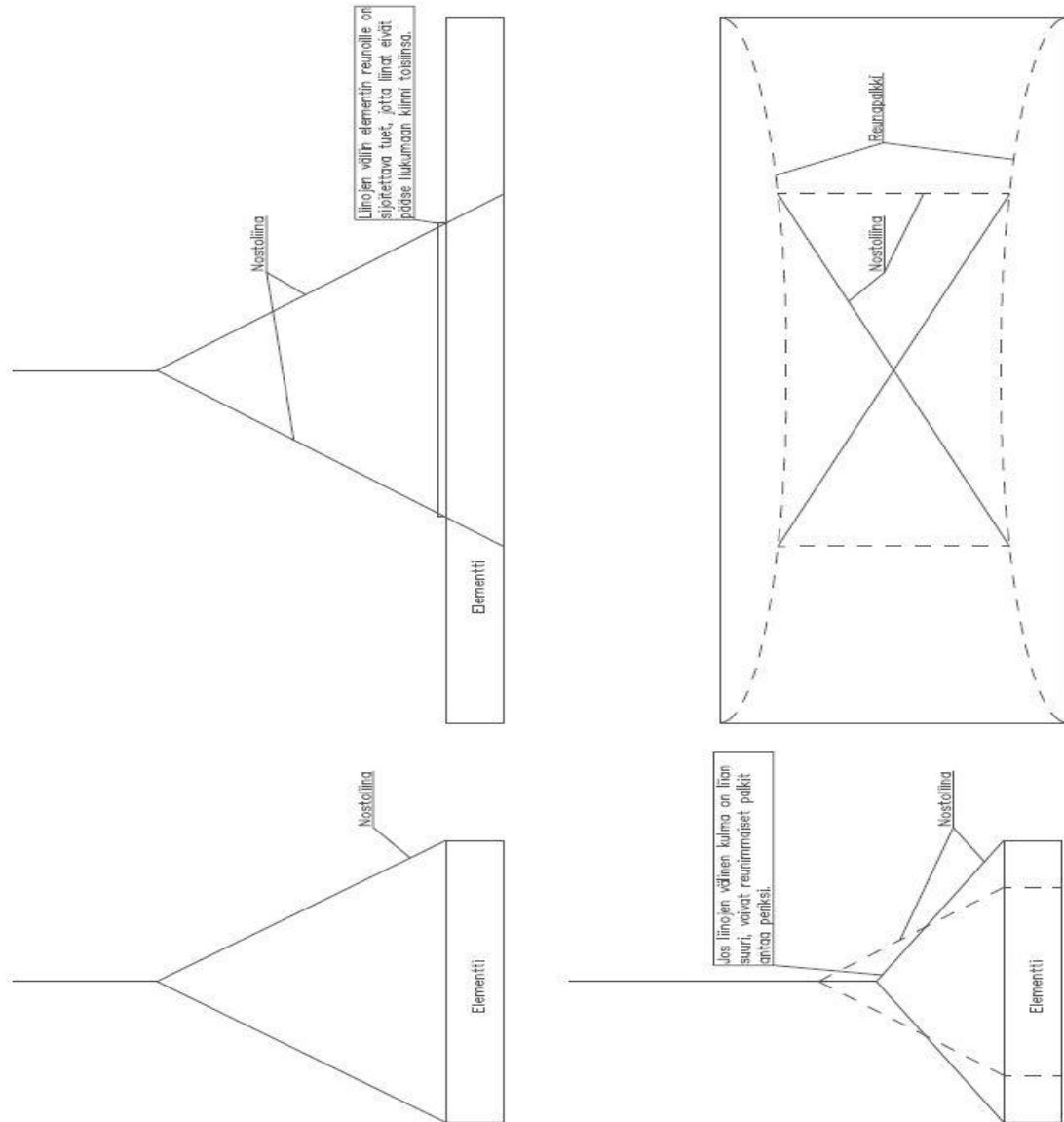
Leikkausvoima kerrotaan 3 m:llä, joka on puolet elementin jännevälillä. Näin saadaan laskettua voiman suuruus yhdessä kiinnityskohdassa.

$$0,72 \text{ kN/m} * 3 \text{ m} = 2,16 \text{ kN}$$

Näin saadaan laskettua ruuvien lukumäärä  $x_2$  yhdessä kiinnityskohdassa:

$$x_2 = \frac{2160 \text{ N}}{4825 \text{ N}} = 0,5 \text{ ruuvia}$$

Kuvassa ylempänä näkyy tilanne, kuinka työmaalla tulisi menetellä nostovaiheessa. Alempi kuva on esimerkki siitä, kuinka voi käydä jos liinojen välinen kulma on liian suuri.



Kipsilevyn koko on 1200 \* 3000 mm. Koska elementissä olevat C-profiilit ovat k1200 mm jaolla, ja elementin pituus on 6000 mm, sopivat levyt kokonaisina elementtiin. Levyjä ei tarvitse leikata eikä synny materiaalihukkaa.

Kun käytetään 1200 \* 2400 mm kokoista vaneria, levy on toisesta suunnasta elementin levyinen, joten sitä ei tarvitse leikata. Kun elementin pituus on 6000 mm, sopii 1200 mm pituisia levyjä siihen kokonaisina 5 kpl, jolloin levyn leikkaamisesta johtuvaa materiaalihukkaa ei tule.

Paroc ROS 30g –eristelevyn koko on 1200 \* 1800 mm. Eristelevy sopii leikkaamattomana C-profiilien väliin. Kun elementin pituus on 6000 mm, sopii 1800 mm pituisia eristelevyjä siihen kokonaisina 3 kpl, jolloin toiseen pätyyn täytyy leikata 600 mm pituinen pala. Näin ollen saadaan yhdestä levystä leikattua 600 mm pituiset puuttuvat palaset, eikä hukkaa synny.

SPU AL –eristelevyn koko on 1200 \* 2400 mm. Eristelevy sopii leikkaamattomana C-profiilien väliin. Kun elementin pituus on 6000 mm, sopii 2400 mm pituisia eristelevyjä siihen kokonaisina 2 kpl, jolloin toiseen pätyyn täytyy leikata 1200 mm pituinen pala. Yksi levy puolittamalla saadaan puuttuvat palanen, jolloin hukkaa ei synny.

$$\text{kumibitumikermi} = 1100 \text{ kg/m}^3 * 0,008 \text{ m} = 8,8 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{havuvaneri} = 500 \text{ kg/m}^3 * 0,015 \text{ m} = 7,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{SPU} = 40 \text{ kg/m}^3 * 0,05 \text{ m} = 2 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Paroc ROS 30g} = 100 \text{ kg/m}^3 * 0,3 \text{ m} = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{kipsilevy} = 700 \text{ kg/m}^3 * 0,0154 \text{ m} = 10,8 \text{ kg/m}^2$$

Yhteenlaskettuna eristeistä, levyistä ja kumibitumikermistä tulee 60 kg/m<sup>2</sup> eli 0,6 kN/m<sup>2</sup>.

Kaavasta 7 saadaan laskettua tuulen aiheuttama osapinnan nettopaine:

$$q_{w,k} = c_{p,net} * q_k(h) \quad (7)$$

jossa  $q_{w,k}$  =tuulen aiheuttama osapinnan nettopaine [kN/m<sup>2</sup>]

$c_{p,net}$  =osapinnan nettotuulenpainekerroin

$q_k(h)$  =rakennuksen korkeutta  $h$  vastaava nopeuspaine [kN/m<sup>2</sup>]

Rakennus kuuluu maastoluokkaan 3 ja sen korkeus on 6 m [1]. Tällöin saadaan nopeuspaineen arvoksi  $q_k(h) = 0,4 \text{ kN/m}^2$ . Osapinnan nettotuulenpainekertoimen arvo katsotaan Puurakenteiden lyhennetyn suunnitteluohjeen taulukosta 2.5 (s. 14). Taulukosta valitaan pahin mahdollinen tapaus, joka on tässä tapauksessa nurkka-alueen räystäs, jolloin  $c_{p,net} = -3,5$ . Näin saadaan laskettua osapinnan nettopaine:

$$q_{w,k} = 0,4 \text{ kN/m}^2 * (-3,5) = -1,4 \text{ kN/m}^2$$

Tämän avulla saadaan laskettua imuvoima, joka kohdistuu yhdelle elementille, jonka pinta-ala on 14,4 m<sup>2</sup>:ä:  $F_{imu} = 14,4 \text{ m}^2 * (-1,4 \text{ kN/m}^2) = -20,16 \text{ kN}$ . Näin ollen elementin kiinnitys on mitoitettava 20,16 kN:in imuvoimalle. Jos suunnitellaan siten, että yhdessä elementissä on neljä kiinnikettä, kohdistuu yhteen kiinnikkeeseen 5040 N:in voima, jolle ruuvit pitää mitoittaa. Näin saadaan laskettua ruuvien lukumäärä  $x_1$  yhdessä kiinnityskohdassa:

$$x_1 = \frac{5040 \text{ N}}{3952 \text{ N}} = 1,3 \text{ ruuvia}$$



## Diffuusiolaskelma talviolosuhteissa

## Liite 9 1 (1)

Lämpötila sisällä	
$t_i$	23
Lämpötila ulkona	
$t_e$	-13,5
Lämpötila ero	36,5

Suhteellinen kosteus sisäl-	
lä $RH_i$	50
Suhteellinen kosteus ulko-	
na $RH_e$	84

$P_i$	1402,5	$pk_i$	2805
$P_e$	160,02	$pk_e$	190,5
$P_{ero}$	1242,48		

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	Tark.	XVI
Ainekerros	d	$\lambda n$	$R_i$	$R_i/R_t$	$\Delta t$	$t_x$	vk	pk	$\delta p$	zi	zi/Zt	$\Delta p$	px	px<pk?	RH
	m	W/m°C	m²°C/W		°C	°C	g/m³	Pa	kg/msPa	m²sPa/kg		Pa	Pa		%
Sisäilma						23	20,54	2805					1402,5	EI TIIVISTY	50
Rsi			0,10	0,009	0,32	22,7	20,17	2752					1402,5	EI TIIVISTY	51
Kipsilevy	0,0154	0,21	0,07	0,006	0,23	22,5	19,91	2714	2,6E-11	592307692	0,009 %	0,1142	1402,4	EI TIIVISTY	52
Höyrynsulku	0,0003		0,20	0,017	0,63	21,8	19,20	2611		7,5E+11	11,64 %	144,6	1257,8	EI TIIVISTY	48
SPU	0,05	0,022	2,27	0,197	7,19	14,6	12,57	1668		4,09E+12	63,46 %	788,48	469,3	EI TIIVISTY	28
Paroc	0,3	0,036	8,33	0,723	26,38	-11,8	1,87	226	7E-11	4,286E+09	0,066 %	0,8	468,5	TIIVISTYY	207
Tuuletusrako	0,022	0,025	0,30	0,026	0,95	-12,7	1,72	206	2E-10	110000000	0,002 %	0,02121	468,5	TIIVISTYY	227
Vaneri	0,015	0,13	0,12	0,003	0,11	-12,8	1,70	204	1,8E+10	8,333E-13	0,000 %	1,61E-22	468,5	TIIVISTYY	230
Kumibitumikermi	0,008	0,23	0,03	0,009	0,32	-13,1	1,65	198		1,60E+12	24,83 %	308,5	160,0	EI TIIVISTY	81
Rse			0,10	0,009	0,32	-13,5	1,60	192					160,0	EI TIIVISTY	84
Ulkoilma						-13,5	1,60	192					160,0	EI TIIVISTY	84
Yhteensä			11,53	1,00	36,5					6,44E+12	1	1242,5			

Lämpötila sisällä ti	23	Suhteellinen kosteus sisällä RH <sub>i</sub>	70	P <sub>i</sub>	1963,5	p <sub>ki</sub>	2805
Lämpötila ulkona te	15	Suhteellinen kosteus ulkona RH <sub>e</sub>	75	P <sub>e</sub>	1281	p <sub>ke</sub>	1708
Lämpötila ero	8			P <sub>ero</sub>	682,5		

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	Tark.	XVI
Ainekerros	d	λ <sub>n</sub>	R <sub>i</sub>	R <sub>i</sub> /R <sub>t</sub>	Δt	t <sub>x</sub>	v <sub>k</sub>	p <sub>k</sub>	δp	z <sub>i</sub>	z <sub>i</sub> /Z <sub>t</sub>	Δp	p <sub>x</sub>	p <sub>x</sub> <p <sub>k</sub> ?	RH
	m	W/m°C	m²°C/W		°C	°C	g/m³	Pa	kg/msPa	m²sPa/kg		Pa	Pa		%
Sisäilma						23	20,54	2805					1963,5	EI TIIVISTY	70
R <sub>si</sub>			0,10	0,009	0,07	22,9	20,46	2793					1963,5	EI TIIVISTY	70
Kipsilevy	0,0154	0,21	0,07	0,006	0,05	22,9	20,40	2785	2,60E-11	5,92E+08	0,01 %	0,0627	1963,4	EI TIIVISTY	71
Höyrynsulku	0,0003		0,20	0,017	0,14	22,7	20,24	2762		7,50E+11	11,64 %	79,4	1884,0	EI TIIVISTY	68
SPU	0,05	0,022	2,27	0,197	1,58	21,2	18,49	2509		4,09E+12	63,46 %	433,12	1450,9	EI TIIVISTY	58
Paroc	0,3	0,036	8,33	0,723	5,78	15,4	13,16	1750	7,00E-11	4,29E+09	0,07 %	0,5	1450,4	EI TIIVISTY	83
Tuuletusrako	0,022	0,025	0,30	0,026	0,21	15,2	12,99	1727	2,00E-10	1,10E+08	0,00 %	0,01165	1450,4	EI TIIVISTY	84
Vaneri	0,015	0,13	0,12	0,003	0,02	15,1	12,97	1725	1,80E+10	8,33E-13	0,00 %	8,82E-23	1450,4	EI TIIVISTY	84
Kumibitumikermi	0,008	0,23	0,03	0,009	0,07	15,1	12,92	1717		1,60E+12	24,83 %	169,4	1281,0	EI TIIVISTY	75
R <sub>se</sub>			0,10	0,009	0,07	15,0	12,87	1710					1281,0	EI TIIVISTY	75
Ulkoilma						15,0	12,87	1710					1281,0	EI TIIVISTY	75
Yhteensä			11,53	1,00	8,0					6,44E+12	1	682,5			

Lämpötila sisällä ti	23
Lämpötila ulkona te	7
Lämpötila ero	16

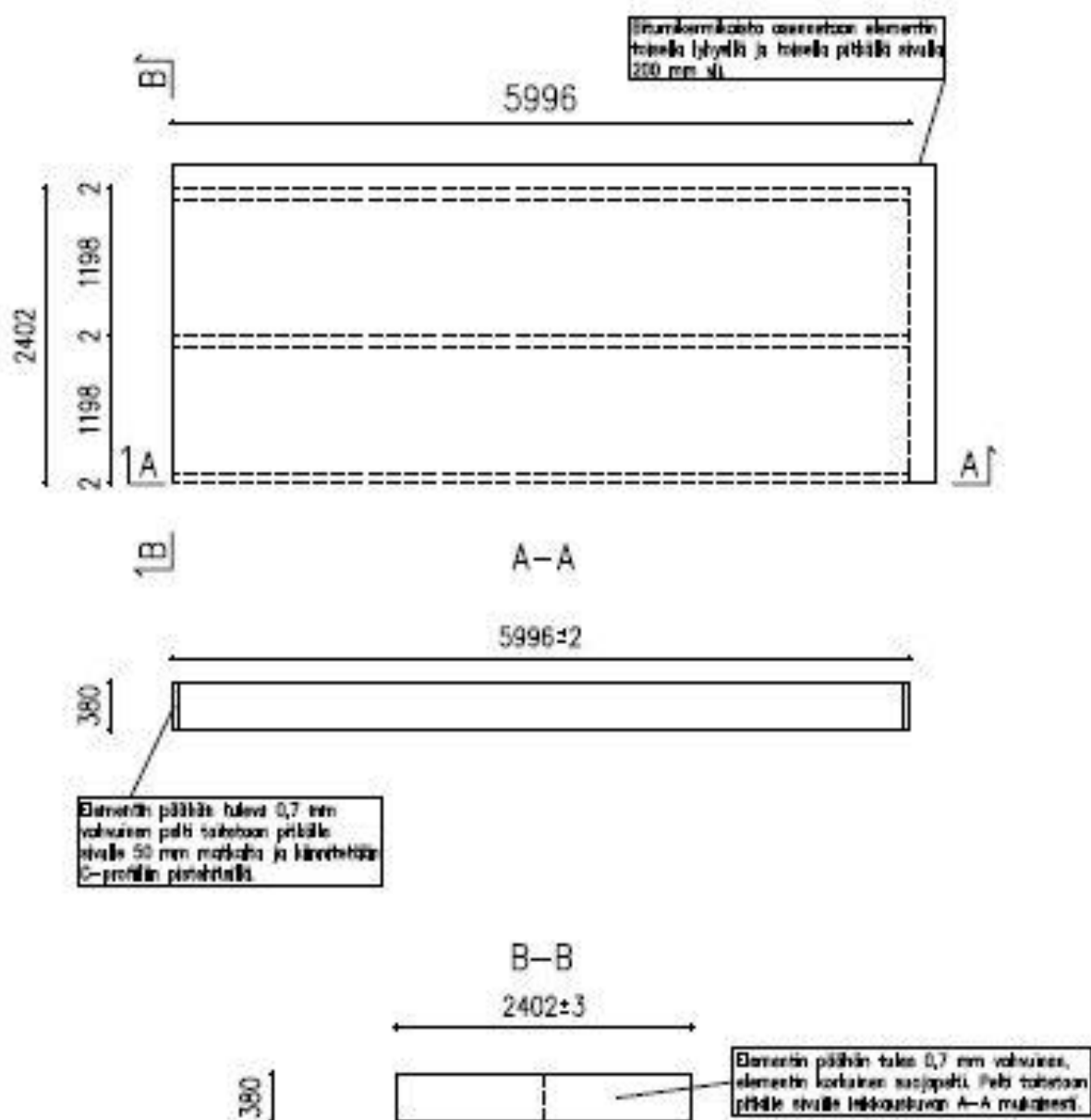
Suhteellinen kosteus sisällä RH <sub>i</sub>	70
Suhteellinen kosteus ulkona RHe	70

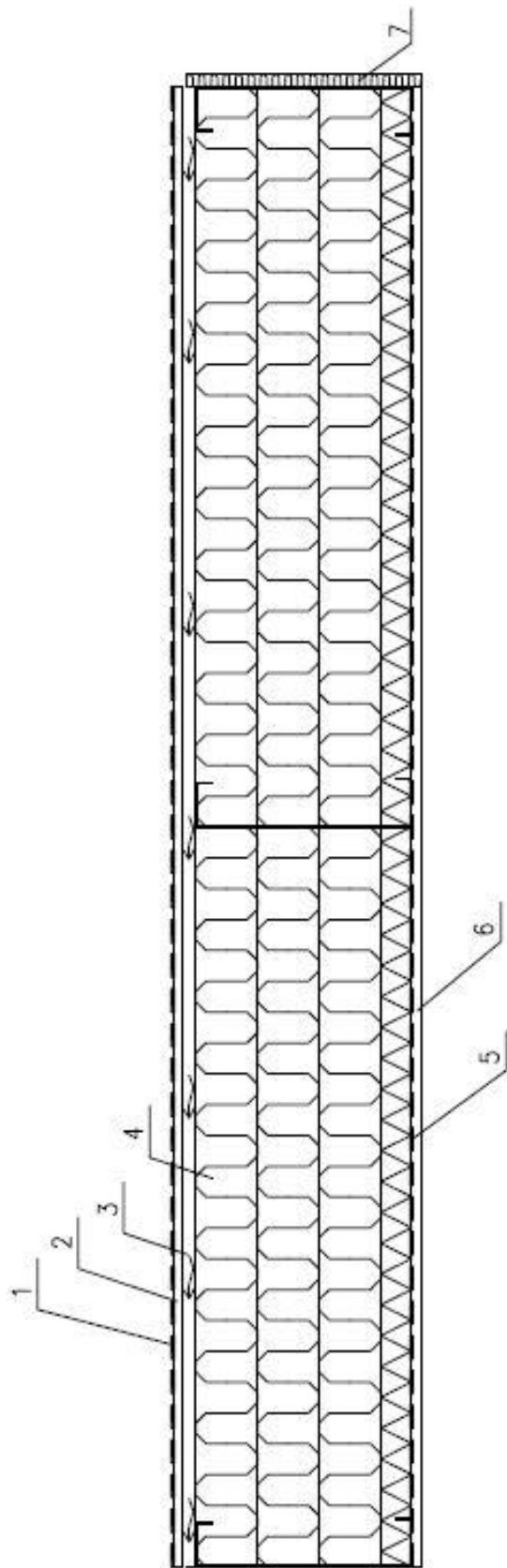
P <sub>i</sub>	1963,5	p <sub>ki</sub>	2805
P <sub>e</sub>	705,6	p <sub>ke</sub>	1008
P <sub>ero</sub>	1257,9		

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	Tark.	XVI
Ainekerros	d m	λn W/m°C	R <sub>i</sub> m²°C/W	R <sub>i</sub> /R <sub>t</sub>	Δt °C	t <sub>x</sub> °C	vk g/m³	p <sub>k</sub> Pa	δp kg/msPa	z <sub>i</sub> m²sPa/kg	z <sub>i</sub> /Z <sub>t</sub>	Δp Pa	p <sub>x</sub> Pa	p <sub>x</sub> <p <sub>k</sub> ?	RH %
Sisäilma						23	20,54	2805					1963,5	EI TIIVISTY	70
R <sub>si</sub>			0,10	0,009	0,14	22,9	20,38	2782					1963,5	EI TIIVISTY	71
Kipsilevy	0,0154	0,21	0,07	0,006	0,10	22,8	20,26	2765	2,60E-11	5,92E+08	0,01 %	0,1156	1963,4	EI TIIVISTY	71
Höyrynsulku	0,0003		0,20	0,017	0,28	22,5	19,94	2719		7,50E+11	11,64 %	146,4	1817,0	EI TIIVISTY	67
SPU	0,05	0,022	2,27	0,197	3,15	19,3	16,62	2242		4,09E+12	63,46 %	798,27	1018,7	EI TIIVISTY	45
Paroc	0,3	0,036	8,33	0,723	11,56	7,8	8,20	1062	7,00E-11	4,29E+09	0,07 %	0,8	1017,9	EI TIIVISTY	96
Tuuletusrako	0,022	0,025	0,30	0,026	0,42	7,3	7,98	1032	2,00E-10	1,10E+08	0,00 %	0,02147	1017,9	EI TIIVISTY	99
Vaneri	0,015	0,13	0,12	0,003	0,05	7,3	7,96	1029	1,80E+10	8,33E-13	0,00 %	1,63E-22	1017,9	EI TIIVISTY	99
Kumibitumikermi	0,008	0,23	0,03	0,009	0,14	7,2	7,88	1019		1,60E+12	24,83 %	312,3	705,6	EI TIIVISTY	69
R <sub>se</sub>			0,10	0,009	0,14	7,0	7,81	1010					705,6	EI TIIVISTY	70
Ulkoilma						7,0	7,81	1010					705,6	EI TIIVISTY	70
Yhteensä			11,53	1,00	16,0					6,44E+12	1	1257,9			

KATTOELEMENTIN TYYPIKUVAT	Sisältö KATTOELEMENTTI YLHÄÄLTÄ Leikkaukset A-A, B-B	
	Suunnittelija	Muutos
	Suunnittelija	
Kohde	det	Mittakaava 1:50

## Liite





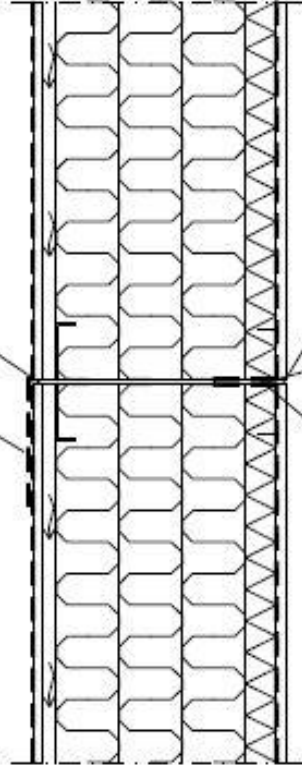
- 1 Kumibitumikermi, luokka VE-20  
-Paloluokka BROOF(t2)  
-Kermit K-MS 170/3000 hits. ja K-PS 170/4000 hits.
- 2 Havuvareri 15 mm
- 3 Tuuletusrako 22 mm (22x50 mm koolaus k300)
- 4 SPU AL 50 mm + Paroc ROS 30g (100+100+100) 300 mm + C-profiili 350 mm k1200
- 5 Höyrynsulkumuovi 0,3 mm
- 6 Palokipsilevy 15 mm  
-Gyproc GF Protect F
- 7 Mineraalivillakaista 20 mm

LIITE 13

KATTOELEMENTIN TYYPPIKUVAT	Sisältö		
	ELEMENTTIRAKENNE		
	Leikkaus päädyistä		
	Suunnittelija	Muutos	
Kohde	Suunnittelija		
	Mittakaava		
	det 1:10		

Bitumikermi jätetään 200 mm yli, joka hitsataan viereisen elementin päälle.

Sauma tiivistetään PU vahdolla ennen bitumikermikaistan limityksen kiinnitystä viereiseen elementtiin.



Saumassa palonestävä massa, pursotetaan kiinni höyrynsulkuun asti.

Höyrynsulku nostetaan elementin pitkälle sivulle ja teipataan kiinni

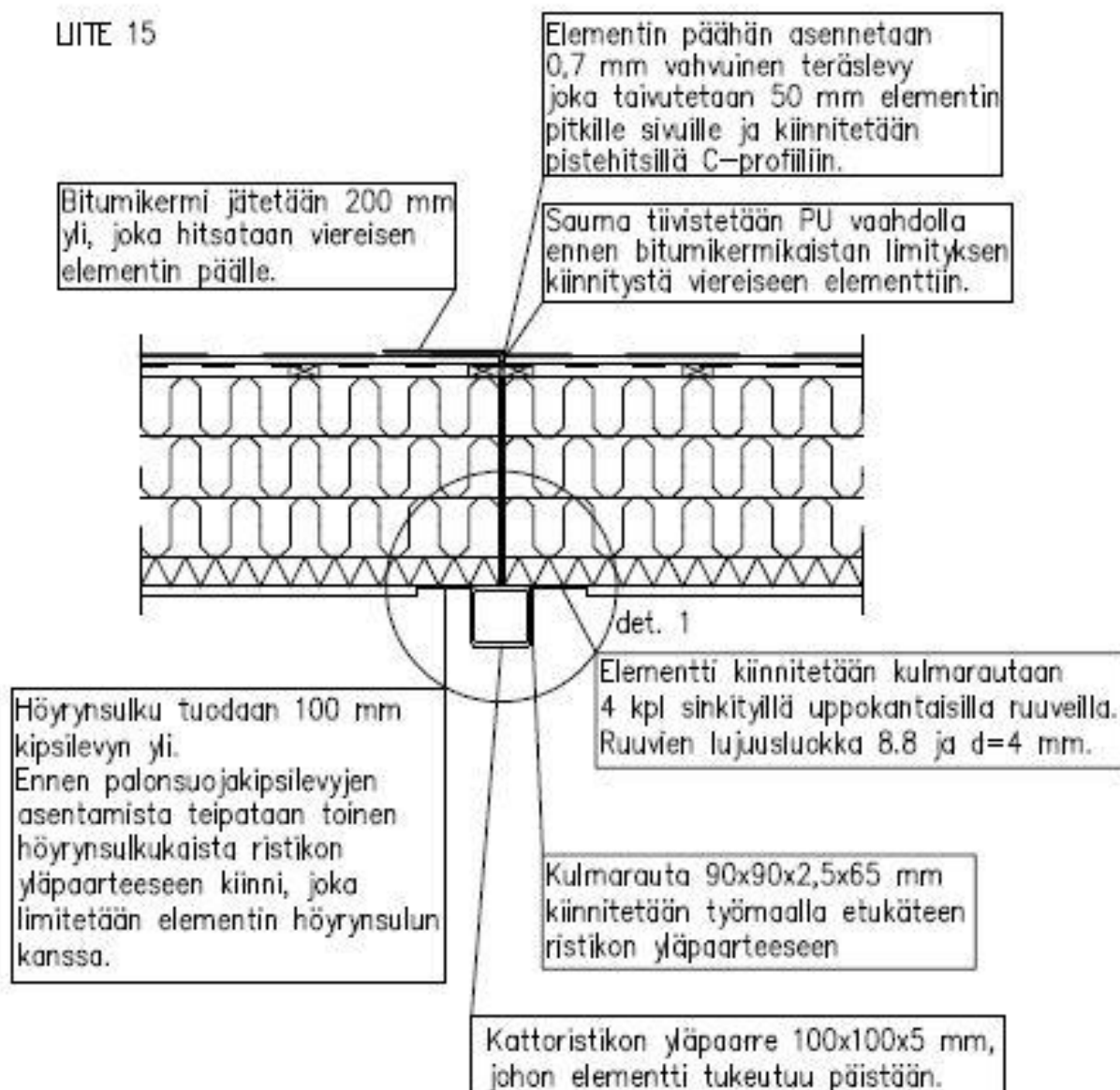
Elementin pitkälle sivulle liimataan valmiiksi tehtäällä minaradivillakaista, jonka paksuus on puristumattomana 20 mm.

LIITE 14

KATTOELEMENTIN TYYPIKUVAT	Sisältö			ELEMENTTIEN VÄLINEN SAUMA
				Liittyminen pitkällä sivulla
	Suunnittelija		Muutos	
	Suunnittelija			
Kohde	det			Mittakaava
				1:10

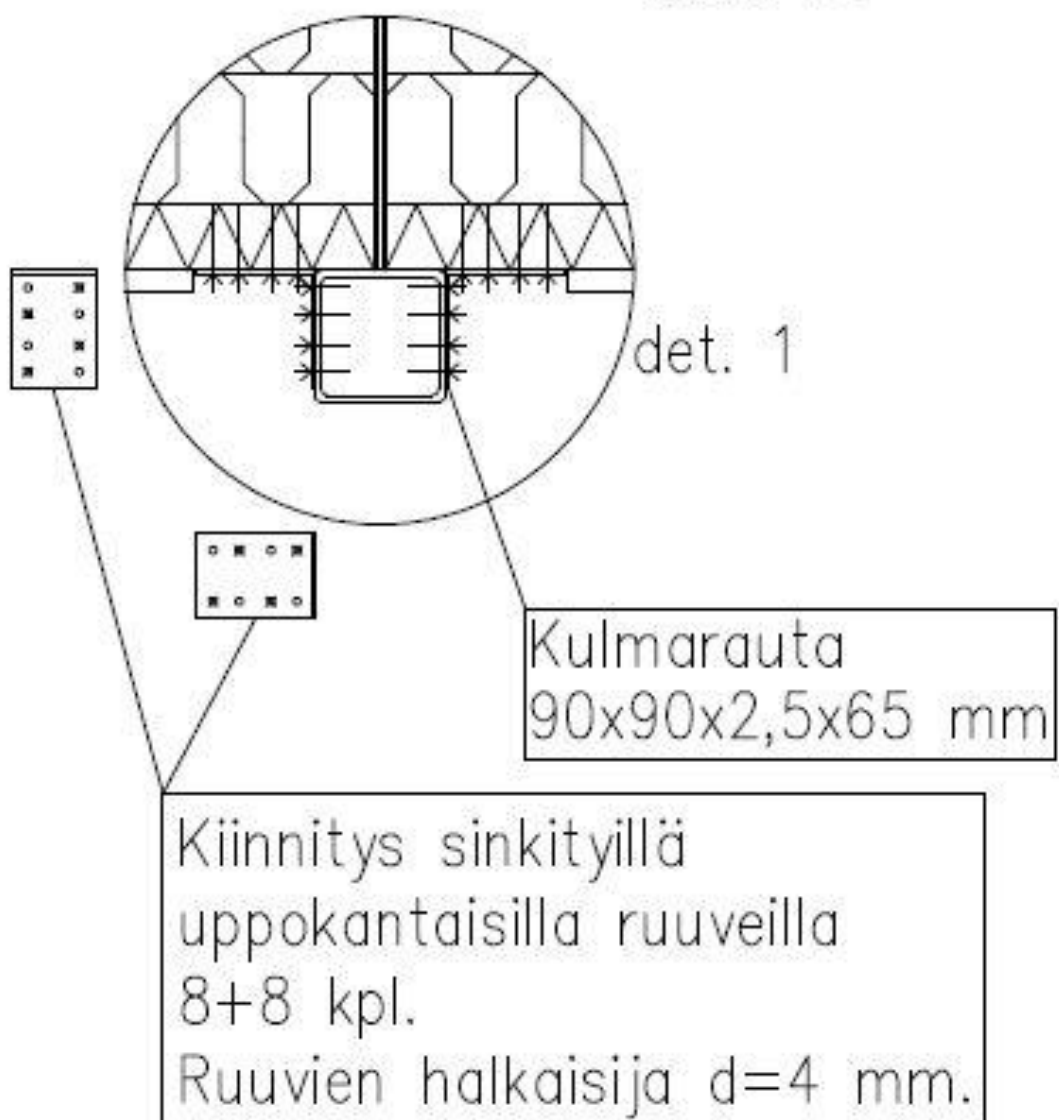
KATTOELEMENTIN TYYPPIKUVAT	Sisältö KATTOELEMENTIN KIINNITYS KATTORISTIKON YLÄPAARTEESEEN	
	Suunnittelija	Muutos
Kohde	det	Mittakaava 1:10

LIITE 15



det. 1	Sisältö KATTOELEMENTIN KIINNITYS KATTORISTIKON YLÄPAARTEESEEN	
	Suunnittelija	Muutos
Kohde	det	Mittakaava 1:5

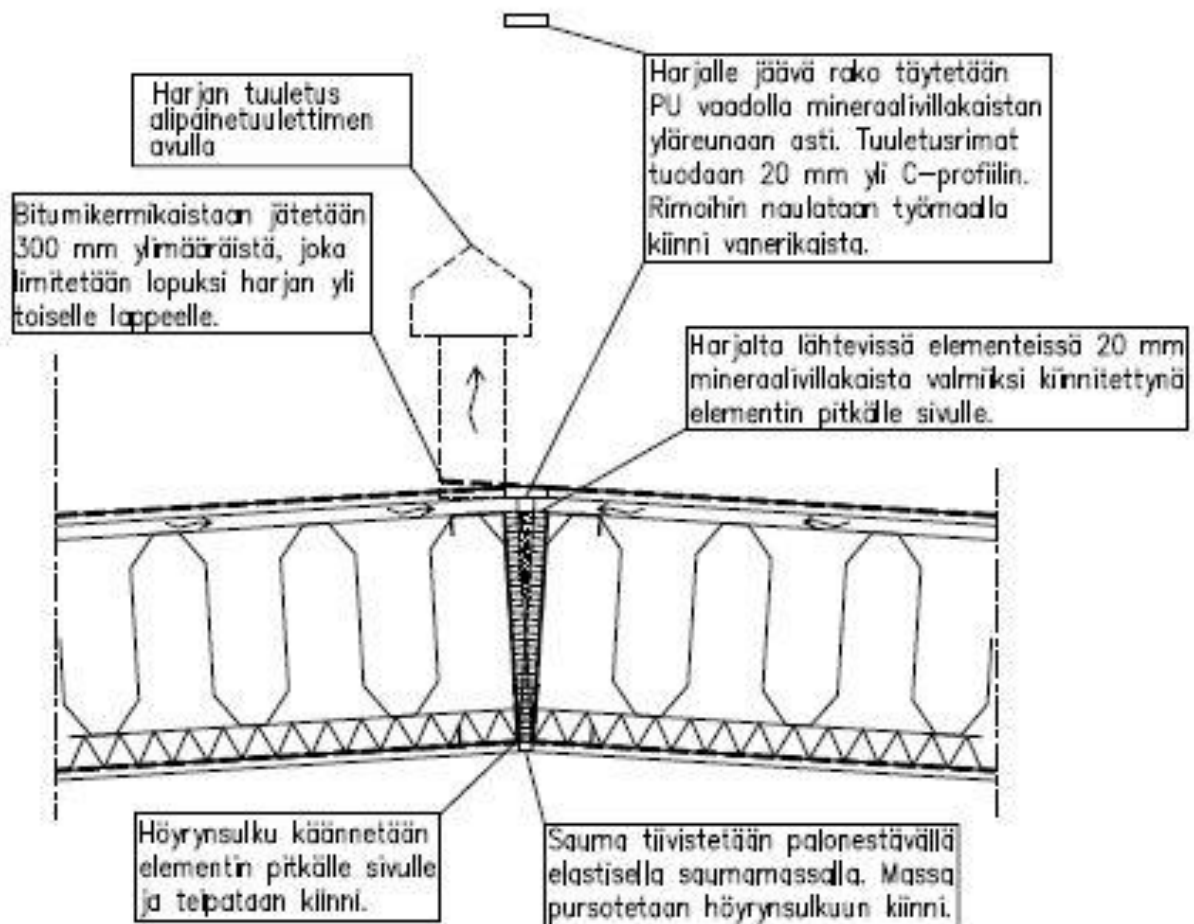
## LIITE 16





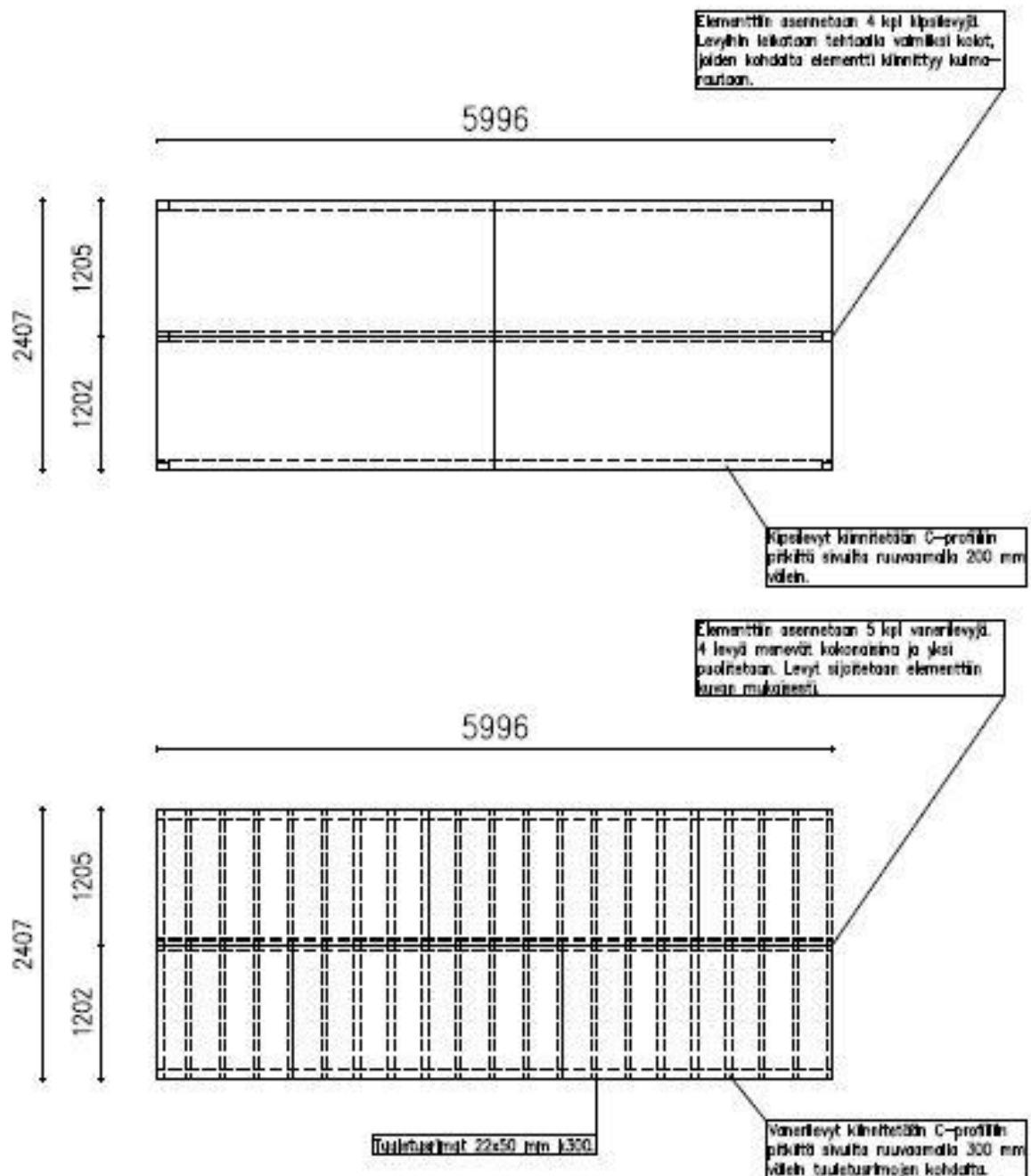
KATTOELEMENTIN TYYPIKUVAT	Sisältö KATTOELEMENTIN LIITTYMINEN HARJA	
	Suunnittelija	Muutos
	Suunnittelija	
Kohde	det	Mittakaava 1:10

LIITE 17



KATTOELEMENTIN TYYPPIKUVAT	Sisältö KATTOELEMENTTI Kipsi- ja vanerilevyjen kiinnitys	
	Suunnittelija	Muutos
	Suunnittelija	
Kohde	det	Mittakaava 1:50

LITE 18



Mitoitusohjelmaan syötettiin jännemitta 6000 mm ja tukimitta 48 mm.

Jänteet

Jännemitta: [mm]

1: 6000

Lisää

Muuta

Tuhoo

Rakenteen päädyt

vasen pääty

☐ rakenteellinen uloke

profiilin pään etäisyys:

oikea pääty

☐ rakenteellinen uloke

profiilin pään etäisyys:

Muuta päädyt

mitat mm

Rakennepituus yhteensä = 6000

Close

Help

Seuraavaksi ohjelmaan kirjattiin tukileveys ja -paksuus mm:nä.

Tuki	Tukileveys	Tukipaksuus	Jatkostyyppi	Tukipala
A	100	5.0	Reunatuki	Ei
B	100	5.0	Reunatuki	Ei

[mm]  [mm] Jatkuva rakenne, jatkuu tuen yli

Tukipalaa hyödynnetään toistaiseksi vain Hattu-profiileilla, muilla orsilla käytetään aina orsitukia

Tukipalkkien materiaali

☒ Teräspalkki ☐ Puupalkki

Teräksen myötöraja:

Orsituet

☒ Käytetään orsitukia (C-, Z- ja Sigma-profiilit)

☒ Käytetään 2-reikäisiä tukia silloin kun se on mahdollista

☐ Käytetään aina 4-reikäisiä tukia

Orsituen seinämävahvuus  [mm]

Orsituen teräksen myötöraja:

Close Help

☒ Muuta

Vasen reunatuki

☒ Pystytuki

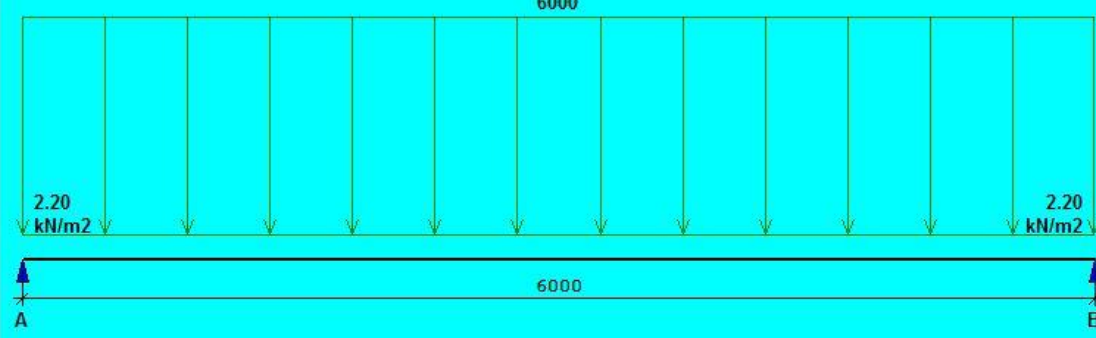
☐ Kiertymätön

Oikea reunatuki

☒ Pystytuki

☐ Kiertymätön

$\mu = 0.80/0.80$   
6000



2.20 kN/m²

6000

A B

Kuormatyyppi

☐ Pysyvä kuorma

☒ Lumikuorma

☐ Tuulikuorma

☐ Muuttuva kuorma

Peruskuormat

Tapaus: 1

☒ Muotokertoimet

☐ Lisäkuormat

Painekertoimet

Peruslumikuorma: 2.75

Liikkuvuus [%]: 0.0

Etäisyys alkupisteestä: 0

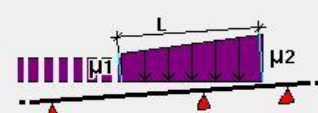
Alueen pituus L: 6000

$\mu_1$ : 0.80

$\mu_2$ : 0.80

Lisää Muuta Tuhoo

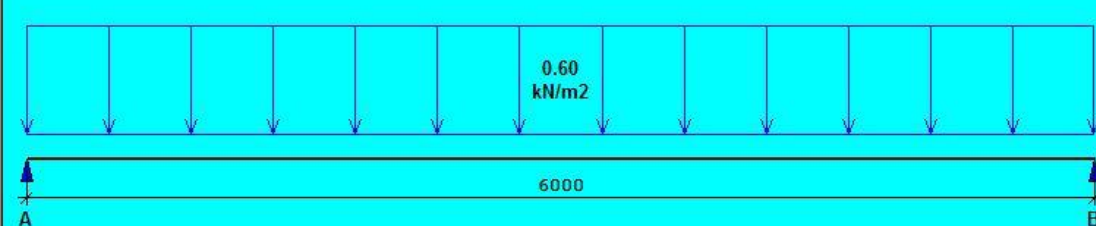
Alueen alkupiste 0, pituus 6000, painekerroin 0.80/0.80 (Q=2.20/2.20)



Kuormat ominaiskuormina (eivät sisällä varmuuskerrointa)

Kokonaiskuorma = 16.80 kN/m

Close Help



0.60 kN/m²

6000

A B

Kuormatyyppi

☒ Pysyvä kuorma

☐ Lumikuorma

☐ Tuulikuorma

☐ Muuttuva kuorma

Peruskuormat

Rakenteen paino ilman orsia: 0.60 kN/m²

Muuta

Lisäkuormat

☒ Tasainen kuorma

☐ Trapetsikuorma


☐ Viivakuorma (poikittainen)

☐ Normaalivoima

Tuella A Tuella B Q1

Selite

Lisää Muuta Tuhoo



Kuormat ominaiskuormina (eivät sisällä varmuuskerrointa)

Kokonaiskuorma = 16.80 kN/m

Close Help

Profiilityyppi | Materiaali | Termorei'itys |

Muodot

- ☒ C-profiili
- ☐ Z-profiili
- ☐ Hattu-profiili
- ☐ Sigma-profiili

**Orsiväli** 1200 mm

☐ Reunakentissä tuplaorsi

☒ Kaikkien Sleeve-palojen paksuus sama

☒ Testeihin perustuva Eurocode-mitoitus

Määrittelemätön

Tuotteet

- LP-C100
- LP-C120
- LP-C150
- LP-C150B
- LP-C200
- LP-C250
- LP-C300
- LP-C350**

**LP-C350**

	Paksuus/Lujuus	Pituus	Kenttä	Tuki	Taipuma	Mitoittava kriteeri
1	2.00/350	6096	OK 78.5	OK 31.8	OK 57.9	Kenttämomentti

Profiilin kokonaispaino = 8.97 kg/m  
7.48 kg/m2

OK Kiinnikkeet

Mitoita

Close

Help

OK 0..99 %  
99..101 %  
>101 %

Profiilityyppi | Materiaali | Termorei'itys |

Materiaaliominaisuudet

- ☒ Kuumasinkitty rakenneteräs
- ☐ Ruostumaton teräs
- ☐ Alumiini

I	Ainekerroksen nimi
II	Ainekerroksen paksuus [m]
III	$\lambda$ arvo, joko C4:sta tai materiaalin valmistajalta
IV	Lasketaan $d/\lambda$
V	Lasketaan $R_i/R_T$ jakautuma
VI	Lasketaan lämpötilamaatos $\Delta t = (R_i/R_T) \cdot (t_i - t_e)$
VII	Lasketaan lämpötila ko. kerroksen jälkeen
VIII	Taulukosta $g/m^3$ (vesihöyryn kyll. pitoisuus)
IX	Taulukosta Pa (vesihöyryn kyll. paine)
X	Taulukosta
XI	Joko taulukosta tai lasketaan $d/\delta$
XII	Lasketaan $z_i/Z_T$ jakautuma
XIII	Lasketaan kaavalla paineen muutos kerroksessa $\Delta p = (z_i/Z_T) \cdot (p_i - p_e)$
XIV	Todellinen vesihöyrynpaine $p_x$
XV	Tarkastetaan, tiivistyykö vesihöyryä $p_x < p_k$
XVI	RH%

